

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической
технологии, нефтехимии и биотехнологии
Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Оптимизация процесса производства товарных бензинов

УДК 665.633:656.13.06

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2КМ61	Свиридова Елизавета Витальевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Киргина Мария Владимировна	кандидат технических наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Креницына Зоя Васильевна	кандидат технических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Авдеева Ирина Ивановна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Самборская М.А.	кандидат технических наук		

Планируемые результаты обучения по ООП по направлению подготовки магистров

18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Общие по направлению подготовки (специальности)		
P1	Осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1 ОК-1, ОК-2, ОК-3), CDIO Syllabus. Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: 40.008 – «Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами», 40.033 – «Специалист по стратегическому и тактическому планированию и организации производства»
P2	Осуществлять управление проектом на всех этапах его жизненного цикла	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2 ОПК-4, ОПК-5), CDIO Syllabus. Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: 40.008 – «Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами», 40.011 – «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам», 40.033 – «Специалист по стратегическому и тактическому планированию и организации производства»
P3	Организовывать и руководить работой команды, вырабатывать командную стратегию для достижения цели	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-3 ОПК-2, ОПК-3, ПК-2, ПК-14), CDIO Syllabus. Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: 40.008 – «Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами», 40.011 – «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам», 40.033 – «Специалист по стратегическому и тактическому планированию и организации производства»
P4	Применять современные коммуникативные технологии в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах) для академического и профессионального взаимодействия	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-4 ОПК-1, ОПК-3, ПК-5), CDIO Syllabus. Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: 40.008 – «Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами», 40.011 – «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам»

P5	Проводить анализ и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-5, ОК-2, ОПК-2, ОПК-3, ПК-5), CDIO Syllabus. Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: 40.008 – «Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами»
P6	Определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности, разрабатывать способы ее совершенствования на основе самооценки	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-6, ОК-1, ОК-3), CDIO Syllabus. Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: 40.008 – «Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами»
Профиль «Процессы и аппараты химической технологии»		
P7	Формулировать, разрабатывать и реализовывать методы решения научно-исследовательских задач, в области ресурсоэффективности и инжиниринга нефтегазоперерабатывающих и нефтехимических производств представлять и защищать результаты	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2, УК-3, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ПК-13, ПК-14, ПК-15, ПК-16, ПК-17), CDIO Syllabus. Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: 40.011 – «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам», 40.008 – «Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами» 26.014 – «Специалист в области разработки, сопровождения и интеграции технологических процессов и производств в области биотехнических систем и технологий»
P8	Проводить все стадии проектирования с использованием методов математического моделирования, коммерческих симуляторов и пакетов прикладных программ, в области ресурсоэффективности и инжиниринга нефтегазоперерабатывающих и нефтехимических производств	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, ПК-18, ПК-19, ПК-20, ПК-21, ПК-22, ПК-23), CDIO Syllabus. Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: 40.011 – «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам», 40.008 – «Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами» 26.014 – «Специалист в области разработки, сопровождения и интеграции технологических процессов и производств в области биотехнических систем и технологий», 19.002 – «Специалист по химической переработке нефти и газа», 19.008 – «Специалист по диспетчерско-технологическому управлению нефтегазовой отрасли», 19.012 – «Специалист по оперативно-диспетчерскому управлению нефтегазовой отрасли»

Р9	<p>Разрабатывать учебно-методическую документацию, ставить новые лабораторные работы, проводить практические занятия по теме, ресурсоэффективности и инжиниринга нефтегазоперерабатывающих и нефтехимических производств</p>	<p>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-4, УК-5, ПК-25, ПК-26), CDIO Syllabus. Критерии АИОР, согласованные с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: 01.004 – «Педагог профессионального обучения, профессионального образования и дополнительного профессионального образования»</p>
----	--	---

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
2КМ61	Свиридовой Елизавете Витальевне

Тема работы:

Оптимизация процесса производства товарных бензинов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№1651/с от 13.03.2018 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Данные хроматографического анализа сырьевых потоков, вовлекаемых в производство товарных бензинов, объемы и рецептуры производства товарных бензинов на предприятии АО «Сызранский НПЗ».
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<div>1 Литературный обзор</div> <div>1.1 Характеристика товарных бензинов</div> <div>1.2 Технология смешения бензинов. Компоненты товарных бензинов</div> <div>1.3 Комплексные решения и алгоритмы оптимизации производства товарных бензинов</div> <div>1.4 Существующие методы оптимизации смешения бензинов</div> <div>2 Объект и методы исследования</div> <div>2.1 Методика расчета октанового числа с учетом неаддитивности</div> <div>2.2 Компьютерная моделирующая система</div>

	«Compounding» 2.3 Сызранский нефтеперерабатывающий завод 2.4 Анализ существующих рецептур смешения бензинов на АО «Сызранский НПЗ» 3 Расчеты и аналитика 3.1 Корректировка рецептур смешения бензинов на предприятии АО «Сызранский НПЗ» 4 Результаты проведенного исследования 4.1 Октаноперепроизводство для обеих марок бензина 4.2 Октаноперепроизводство для бензина марки АИ-92, недостаток октанового числа для бензина марки АИ-95 4.3 Октаноперепроизводство для бензина марки АИ-95, недостаток октанового числа для бензина марки АИ-92 4.4 Недостаток октанового числа для обеих марок бензина 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 6 Социальная ответственность
Перечень графического материала	нет

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Криницына Зоя Васильевна, к.т.н., доцент
Социальная ответственность	Авдеева Ирина Ивановна, ассистент

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Литературный обзор

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.03.2016
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ	Киргина Мария Владимировна	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2КМ61	Свиридова Елизавета Витальевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2КМ61	Свиридова Елизавета Витальевна

Школа	ИШПР	Отделение школы (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Бюджет затрат НИ составляет 18672,3 рублей
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Нормы и нормативы расходования ресурсов
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Учтены отчисления во внебюджетные фонды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Научное исследование является конкурентоспособным на рынке
2. Разработка устава научно-технического проекта	Разработан устав научно-технического проекта
3. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Разработан календарный план-график проведения научного исследования
4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Разработано конкурентоспособное исследование, отвечающее требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Потенциальные потребители результатов исследования
2. Диаграмма Исикавы
3. Инициализация проекта
4. График проведения и бюджет НТИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2018
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Криницына Зоя Васильевна	Кандидат технических наук, доцент		01.03.2018

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2КМ61	Свиридова Елизавета Витальевна		01.03.2018

ТЕМА: Оптимизация процесса производства товарных бензинов
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2КМ61	Свиридовой Елизавете Витальевне

Школа	ИШПР	Отделение школы (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:

- вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)
- опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)
- негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)
- чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)

Объектом исследования является процесс смешения товарных бензинов. Рабочее место инженера-оператора на производстве представляет собой компьютер, стол. Клавиатура и мышь расположены на столе. Имеются стулья с нерегулируемой спинкой. Область применения – нефтеперерабатывающая промышленность.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
- действие фактора на организм человека;
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
- предлагаемые средства защиты;
- (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).

1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- механические опасности (источники, средства защиты);
- термические опасности (источники, средства защиты);
- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)

а. В производственной среде и при применении вычислительной техники вероятно воздействие следующих вредных факторов:

- Отклонение показателей микроклимата в помещении;
- Недостаточная освещенность;
- Повышенный уровень шума;
- Повышенный уровень электромагнитных излучений
- Психофизиологические производственные факторы
- Вредные вещества, такие как:
- компоненты бензин;
- метанол, бензол, толуол, МТБЭ;
- товарные бензины;

Для защиты используют: хлопчатобумажные костюмы, защитные очки, ботинки кожаные, перчатки, противогазы, каска.

1.2 К опасным факторам относят:

- горючесть, взрывоопасность, токсичность веществ, используемых на установке;
- наличие электротехнических устройств высокого напряжения;
- короткое замыкание;
- статическое электричество;

	<p>-движение машинных механизмов на предприятии; -превышение токсичных веществ в воздухе рабочей зоны. СанПиН 2.2.4.548 – 96, ГОСТ 12.1.013 – 78, СанПиН 2.2.4.1191 – 03, СанПиН 2.6.1.1015 – 01, СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03, СанПиН 2.2.4/2.1.8.055 – 96, инструкция по охране труда при работе на ПК.</p>
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); <p>разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</p>	<p>Основными загрязнителями атмосферы на производстве являются:</p> <ul style="list-style-type: none"> - С1-С5, бензола, толуола и ксилола; <p>Для повышения уровня экологической безопасности следует улучшить фильтрационные очистительные сооружения, проводить очистку сточных вод, для утилизации необходимо проводить захоронение на специальных полигонах для промышленных отходов, использовать очистку газа от токсичных веществ на абсорбционных установках.</p> <p>Также утилизации подлежат твердые отходы (отработанный катализатор), люминесцентные лампы, комплектующие ПК и оборудования.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <p>перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</p> <ul style="list-style-type: none"> – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>Возникновение ЧС, требующих обеспечения электро- и пожаровзрывобезопасности на рабочем месте.</p> <p>Перечень возможных ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> -пожар; -взрыв; -розлив продуктов. <p>Наиболее распространенной ЧС является пожар. Для обеспечения безопасной эксплуатации колонны предусмотрена рациональная технологическая схема с комплексной автоматизацией технологического процесса, которая позволяет обеспечить непрерывный процесс производства и стабильную работу оборудования. Также предусмотрено отключение электрооборудования со щита операторной.</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>К нормативным актам, регулирующим вопросы охраны труда, в первую очередь относится Трудовой кодекс Российской Федерации. Для обеспечения безопасности на рабочем месте необходимо руководствоваться санитарными нормами и правилами. Для снижения вредного воздействия химических факторов работникам производства выдается молоко питьевое в количестве 0,5 л за смену для выведения из организма токсичных веществ.</p> <p>Конституция РФ, ГОСТ Р 12.1.009-2009.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2018
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Авдеева Ирина Ивановна			01.03.2018

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2КМ61	Свиридова Елизавета Витальевна		01.03.2018

Реферат

Выпускная магистерская диссертация содержит 154 с., 18 рис., 36 табл., 56 источников, 1 Приложение.

Ключевые слова: математическое моделирование, оптимизация, высокооктановые бензины, октановое число, рецептуры смешения, логический алгоритм.

Объектом исследования в данной работе является производство товарных бензинов на предприятии АО «Сызранский НПЗ». Предмет исследования – рецептуры смешения товарных бензинов.

Цель данной – разработка логического алгоритма корректировки рецептур смешения товарных бензинов с учетом состава вовлекаемого сырья, отражающего концепцию ресурсоэффективного производства.

В процессе исследования проведен анализ рецептур смешения бензинов на предприятии АО «Сызранский НПЗ»; существующие рецептуры скорректированы с целью увеличения объемов выпуска высокооктановых марок топлива.

В результате исследования разработаны логические алгоритмы для 4 типов корректировки рецептур смешения бензинов.

Экономическая эффективность/значимость работы: внедрение моделирующей системы позволит повысить ресурсоэффективность процесса производства товарных бензинов за счёт снижения нежелательных запасов по качеству товарных продуктов и перерасхода дорогостоящих компонентов.

Оглавление

Оглавление

Реферат	10
Введение.....	13
1 Литературный обзор	15
1.1 Характеристика товарных бензинов	15
1.2 Технология смешения бензинов. Компоненты товарных бензинов.....	22
1.3 Комплексные решения и алгоритмы оптимизации производства товарных бензинов	26
1.4 Существующие методы и программные решения для оптимизации смешения бензинов	31
2 Объекты и методы исследования	42
2.1 Методика расчета октанового числа с учетом неаддитивности	42
2.2 Компьютерная моделирующая система «Compounding»	44
2.3 Сызранский нефтеперерабатывающий завод.....	46
2.4 Анализ существующих рецептур смешения бензинов на АО «Сызранский НПЗ»	47
3 Расчеты и аналитика	55
3.1 Корректировка рецептур смешения бензинов на предприятии АО «Сызранский НПЗ»	55
4 Результаты проведенного исследования	60
4.1 Октаноперепроизводство для обеих марок бензина	63
4.2 Октаноперепроизводство для бензина марки АИ-92, недостаток октанового числа для бензина марки АИ-95.....	66
4.3 Октаноперепроизводство для бензина марки АИ-95, недостаток октанового числа для бензина марки АИ-92.....	69
4.4 Недостаток октанового числа для обеих марок бензина	77
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	78
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	78

5.2 Инициация проекта	84
5.3 Планирование научно-исследовательских работ.....	88
5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	105
6 Социальная ответственность	108
6.1 Производственная безопасность	108
6.2 Экологическая безопасность.....	118
6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	120
6.4 Правовые вопросы обеспечения безопасности.....	122
Выводы	124
Список публикаций студента.....	126
Список литературы	129
Приложение А	135

Введение

В последние годы в Российской Федерации наблюдается тенденция к росту объемов производства высокооктановых и высококачественных марок бензина, таких как АИ-95 и АИ-98. В тоже время с 1 июля 2016 года была запрещена реализация топлива экологического класса ниже 5-го. Для производства качественного бензина, а также для повышения доли выпуска высокооктановых марок, производителям приходится модернизировать существующие и вводить новые установки вторичной переработки нефти, перераспределять сырье между установками, пересматривать рецептуры смешения топлива, но одной из самых важных задач является планирование и оптимизация процесса смешения товарных бензинов.

Проблема планирования и оптимизации смешения товарных бензинов является крайне актуальной для всех промышленных предприятий – производителей бензина. На сегодняшний день, в результате многочисленных исследований, с использованием химических, математических и программных подходов, были созданы и внедрены на производство различные алгоритмы и моделирующие системы на их основе для сопровождения производства товарных бензинов.

Оптимизация процессов производства товарных бензинов – это многофакторная комплексная задача, наиболее часто заключающаяся в необходимости точно рассчитать и своевременно скорректировать рецептуры смешения бензинов.

Целью данной работы является разработка логического алгоритма корректировки рецептур смешения товарных бензинов с учетом состава вовлекаемого сырья, отражающего концепцию ресурсоэффективного производства. Для достижения данной цели были поставлены следующие **задачи**:

- 1) Провести анализ существующих рецептур смешения бензинов на предприятии АО «Сызранский НПЗ».

2) Осуществить корректировку, существующих на предприятии АО «Сызранский НПЗ», рецептур смешения бензинов, с целью устранения производства некондиционных партий моторного топлива, увеличения объемов выпуска высокооктановых марок топлива и повышения ресурсоэффективности производства в целом

3) Создать логический алгоритм корректировки рецептур смешения бензинов.

Объектом исследования в данной работе является производство товарных бензинов на предприятии АО «Сызранский НПЗ». **Предмет исследования** – рецептуры смешения товарных бензинов.

Научная новизна работы:

Установлено, что все возможные случаи, в которых требуется корректировка рецептур смешения бензинов, могут быть разделены на 4 основных типа. Разработаны логические алгоритмы для 4 типов корректировки рецептур смешения бензинов.

Практическая значимость работы:

Скорректированные в ходе работы, рецептуры смешения бензинов марок АИ-92, АИ-95, позволят предприятию производить товарный продукт соответствующий всем требованиям ГОСТ 32513-2013 «Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия» и Технического регламента таможенного союза ТР ТС 013 2011 «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту». Внедрение алгоритма корректировки и моделирующей системы на его основе позволит повысить ресурсоэффективность процесса производства бензинов за счёт снижения нежелательных запасов по качеству товарных продуктов и перерасхода дорогостоящих компонентов бензина, что позволит производителю получить дополнительную прибыль.

1 Литературный обзор

На сегодняшний день бензины являются одним из основных видов моторных топлив и используются для поршневых двигателей внутреннего сгорания с принудительным воспламенением (зажигание от искры).

К современным бензинам предъявляется ряд эксплуатационных и экологических требований; соответствие бензина предъявляемым требованиям зависит, прежде всего, от его физико-химических свойств, которые должны обеспечивать надежную и экономичную работу двигателя, а также обеспечивать экологичность топлива.

Процесс производства бензинов – это сложная многокритериальная технологическая задача, представляющая собой смешение различных углеводородных потоков, а также антидетонационных присадок и добавок-оксигенатов. Для решения данной задачи требуется создание сложных высокоспециализированных алгоритмов и компьютерных моделирующих систем на их основе.

1.1 Характеристика товарных бензинов

Бензин – это продукт переработки нефти, представляющий собой горючую и легковоспламеняющуюся смесь из углеводородов, присадок и добавок. Состав бензинов колеблется в широких пределах, в зависимости от используемой нефти и существующих процессов, установок на нефтеперерабатывающем заводе, и может включать в себя более 200 индивидуальных компонентов.

К современным бензинам предъявляется ряд требований для обеспечения экономичной и надежной работы двигателя: групповой углеводородный состав, обеспечивающий устойчивый, бездетонационный процесс сгорания на всех режимах работы двигателя; хорошая испаряемость, позволяющая получить однородную топливовоздушную смесь оптимального состава при любых температурах; неизменность состава и свойств бензина при

длительном хранении и минимальное вредное влияние на детали топливной системы, резервуары, резинотехнические изделия и др.

Основным видом автомобильного двигателя является двигатель внутреннего сгорания.

Двигателем внутреннего сгорания (ДВС) называется тепловая машина, преобразующая химическую энергию топлива в механическую работу. Достоинствами поршневого двигателя внутреннего сгорания, обеспечившими его широкое применение, являются: автономность, универсальность (сочетание с различными потребителями), невысокая стоимость, компактность, малая масса, возможность быстрого запуска. Однако имеется ряд существенных недостатков: высокий уровень шума, большая частота вращения коленчатого вала, токсичность отработавших газов, низкий коэффициент полезного действия (около 40%).

Принцип работы ДВС основан на эффекте теплового расширения газов и преобразовании тепловой энергии от сгорания топлива в механическую работу. Работа поршневого ДВС осуществляется циклически. Каждый рабочий цикл происходит за два оборота коленчатого вала и включает четыре такта (четырехтактный двигатель): впуск, сжатие, рабочий ход и выпуск (рисунок 1.1).

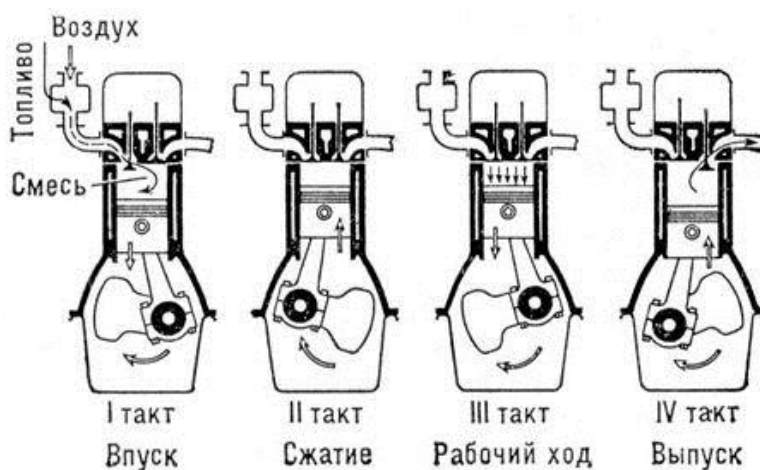


Рисунок 1.1 Рабочий цикл 4-тактного карбюраторного двигателя

На такте «впуск» впускная и топливная системы обеспечивают образование топливно-воздушной смеси. При открытии впускных клапанов

внутри цилиндра поступает горючая смесь, которая перемешивается с остаточными газами, в результате чего образуется рабочая смесь. На такте «сжатия» впускные клапаны закрываются, и горючая смесь сжимается в цилиндрах двигателя. В конце такта сжатия рабочая смесь воспламеняется от искры. В результате возгорания образуется большое количество газов, которые давят на поршень и заставляют его двигаться вниз.

Для надежной и нормальной работы двигателя основные физико-химические свойства и эксплуатационные характеристики бензинов строго регламентируются в соответствии с нормативным документом – ГОСТ 32513-2013 «Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия», который включает в себя информацию о технических требованиях, предъявляемых к бензинам; используемых присадках; классах испаряемости; требованиях, определяемых климатическими условиями и методах испытаний бензинов.

Для товарных бензинов, которые используются в качестве моторных топлив, важны следующие характеристики:

- октановое число (детонационная стойкость);
- фракционный состав;
- давление насыщенных паров (ДНП);
- химическая стабильность;
- наличие включений посторонних элементов и соединений, ухудшающих параметры бензина и загрязняющих окружающую среду;
- испаряемость.

Развитие производства бензинов в первую очередь связано со стремлением улучшить основное эксплуатационное свойство топлива – детонационную стойкость, численным эквивалентом которой является октановое число (ОЧ) бензина.

Детонационная стойкость характеризует способность бензина сгорать в двигателе внутреннего сгорания с воспламенением от искры без детонации. Детонация – это процесс самопроизвольного воспламенения бензина в

двигателе внутреннего сгорания, носящий характер взрывной волны. Детонация является нежелательным режимом сгорания топлива в двигателе, так как с обычной скоростью после воспламенения от искры сгорает только часть рабочей смеси. Детонация приводит к перегреву двигателя, что ведет к повреждению рабочей поверхности цилиндров и поршней, падению мощности, появлению повышенного износа цилиндро-поршневой группы или местных разрушений двигателя, ведет к увеличению дымности отработавших газов [1].

Вероятность возникновения детонации в бензиновом ДВС в значительной степени зависит от состава автомобильного бензина: наиболее стойки к детонации ароматические и изопарафиновые углеводороды, наименее стойки – нормальные парафиновые углеводороды.

Оценка детонационной стойкости бензинов производится на установке УИТ-65, основным элементом которой является стандартный одноцилиндровый карбюраторный двигатель с переменной степенью сжатия. Определение величины сводится к подбору смеси эталонных углеводородов, которая при данной степени сжатия двигателя сгорает с такой же интенсивностью, как и испытуемый бензин. В качестве эталонных углеводородов приняты: изооктан (2,2,4-триметилпентан, детонационная стойкость принята равной 100 единицам) и н-гептан (детонационная стойкость принята равной 0).

Октановое число – условная величина, которая является показателем детонационной стойкости. Существует два метода определения ОЧ: моторный метод определения октанового числа – ОЧМ (жесткий режим с частотой вращения коленчатого вала двигателя 900 об/мин на установке УИ-65) и исследовательский метод – ОЧИ (мягкий режим с частотой вращения коленчатого вала 600 об/мин). Разница между ОЧИ и ОЧМ называется чувствительностью [2].

На сегодняшний день одним из документов, законодательно устанавливающих технические требования к неэтилированным бензинам нового поколения, в частности, к октановому числу, является [3], который

введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 января 2015 г.

Согласно данному документу в Российской Федерации осуществляется выпуск следующих марок бензина:

- Бензин АИ-80;
- Бензин АИ-92;
- Бензин АИ-95;
- Бензин АИ-98.

Одним из важнейших свойств бензина является *испаряемость* – характеризует способность создавать смесь паров бензина с воздухом, которая сможет воспламениться с помощью электрической искры при любых климатических условиях и при всех режимах работы двигателя. Испаряемость бензина характеризуется такими показателями, как *фракционный состав* и *давление насыщенных паров (ДНП)*.

Фракционный состав и ДНП оказывают влияние на пусковые свойства бензинов, их склонность к образованию паровых пробок, физическую стабильность, скорость прогрева автомобиля, расход горючего и другие показатели.

Требования к фракционному составу и давлению насыщенных паров бензинов определяются конструкцией автомобильного двигателя и климатическими условиями его эксплуатации. С одной стороны, необходимо обеспечить запуск двигателя при низких температурах, с другой стороны – предотвратить нарушения в работе двигателя, связанные с образованием паровых пробок при высоких температурах и уменьшить потери бензина при хранении и транспортировании.

При низком давлении насыщенных паров бензина пусковые свойства бензинов ухудшаются, причем при давлении 34 кПа запуск двигателя становится невозможным из-за низкой концентрации паров бензина в рабочей зоне. Однако чрезмерное давление насыщенных паров бензина также недопустимо, так как вызывает неполадки в работе прогретого двигателя из-за

образования паровых пробок в системе топливоподачи. Причиной образования паровых пробок в автомобильном двигателе является интенсивное испарение топлива вследствие его перегрева. На образование паровых пробок влияет испаряемость бензина, температура и конструкция двигателя. Для нормальной работы двигателя бензин должен иметь ДНП в определенном интервале, поэтому в [3] имеется ограничение, как для верхнего, так и для нижнего уровня давления насыщенных паров, причем для учета климатических особенностей автомобильные бензины по фракционному составу и давлению насыщенных паров подразделяют на два вида: зимний и летний.

Химическая стабильность – величина, которая характеризует способность бензина противостоять химическим изменениям своих свойств и состава при длительном хранении, перекачках, транспортировании или при нагревании впускной системы двигателя. Химическая стабильность бензинов связана с наличием в их составе непредельных углеводородов, которые характеризуются повышенной склонностью к окислению в условиях транспортирования или хранения топлива.

Содержащиеся в бензинах неуглеводородные примеси также влияют на их химическую стабильность. Наихудшей химической стабильностью обладают олефиновые и диолефиновые углеводороды, а наилучшей – разветвлённые углеводороды (изоалканы).

Коррозионная активность бензинов обуславливается наличием в бензинах неуглеродных примесей, в первую очередь сернистых и кислородных соединений и водорастворимых кислот и щелочей. Качественное определение оценивается общим содержанием серы, кислотностью, содержанием меркаптановой серы, испытанием на медной пластинке и содержанием водорастворимых кислот и щелочей [2].

Все вышеперечисленные свойства бензинов контролируются и строго регламентируются. Кроме нормативного документа [3] для регламентации экологических требований в феврале 2008 г. Правительством Российской Федерации утвержден Технический регламент Таможенного союза

ТР ТС 013/2011 «О требованиях к автомобильному, авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту» [4], в котором были установлены требования к выпускаемым в оборот и находящимся в обороте нефтепродуктам.

Согласно Техническому регламенту бензин, производимый на заводе, должен удовлетворять всем экологическим требованиям, представленным в документе: содержание серы, ароматических углеводородов, бензола, олефинов и т.д. С каждым годом экологические требования к топливу становятся все жестче, так например, на сегодняшний день все производители бензинов должны выпускать моторное топливо не ниже 5-го экологического класса. Таким образом, согласно [4], в товарном бензине массовая доля серы должна быть не более 10 мг/кг; объемная доля ароматических углеводородов – не более 35 % об, олефиновых углеводородов – не более 18 % об.; давление насыщенных паров в летний период должно составлять 45-100 кПа, в зимний – 50-100 кПа; бензин не должен содержать присадку монометиланилин (ММА).

Таким образом, процесс производства бензина с каждым годом становится все более сложной задачей для производителя. Главная сложность при выпуске высокооктановых бензинов заключается в противоположности свойств углеводородов, входящих в состав бензинов.

Так, высоким исследовательскими октановыми числами обладают ароматические соединения и олефины, однако их содержание строго ограничивается экологическими требованиями; другим способ увеличения ОЧ бензина является добавление антидетонационных присадок или добавок-оксигенатов, содержание которых в бензине также строго регламентировано.

На сегодняшний день экологические требования к топливам становятся определяющими из-за отрицательного воздействия, связанного с токсичностью соединений, попадающих в атмосферный воздух, воду, почву непосредственно из топлива (испарения, утечки) или с продуктами его сгорания. В составе отработавших газов бензиновых двигателей преобладают: окись углерода,

углеводороды и оксиды азота, а также ароматические вещества (альдегиды, безапирен) [5].

Вводимые экологические ограничения по содержанию вредных веществ, групповому углеводородному составу, а также по содержанию серы и бензола помогают улучшить экологические свойства бензинов. Эти ограничения позволяют обеспечить надежную работу двигателя и способствуют уменьшению воздействия автомобильного парка на загрязнение окружающей среды, но при этом делают задачу производства высокооктановых и высококачественных бензинов оптимизационно сложной.

1.2 Технология смешения бензинов. Компоненты товарных бензинов

Процесс производства бензинов, или процесс компаундирования – это сложный многоступенчатый процесс, который является крайне трудоемкой с точки зрения оптимизации промышленной технологией в виду ряда некоторых особенностей:

- детонационные свойства смесевых бензинов не подчиняются закону аддитивности;
- в виду постоянного изменения состава вовлекаемого сырья и доступности сырьевых потоков необходим жесткий контроль рецептуры смешения и своевременное изменение ее при необходимости;
- в резервуарных парках не всегда имеется нужное для смешения количество сырьевого потока;
- количество сырьевых компонентов, вовлекаемых в смешение, может быть 5-8, а может и достигать 20 в зависимости от мощности завода.

На каждом российском НПЗ, в зависимости от существующей технологической ситуации и схем компаундирования, для увеличения выпуска высокооктановых бензинов и улучшения их эксплуатационных и экологических свойств, применяются различные пути решения этой проблемы:

1. Увеличение числа базовых компонентов бензинов, т.е. высокооктановых и высококачественных сырьевых потоков – бензинов каталитического риформинга, каталитического крекинга, изомеризации, алкилирования, а также чистых компонентов – бутана и пентановой фракции.

Далее будут рассмотрены основные процессы вторичной переработки нефти и их продукты, вовлекаемые в производство бензинов.

Таблица 1.1 – Компонентный состав автомобильных бензинов в России, США и Европе

Показатели	Россия	США	Европа
Общий объем бензинового фонда, млн. тонн в год	24	330	130
Компонентный состав, % об.			
Бутаны	5,7	7	5
Риформат	54,1	34	48,2
Бензин кат.крекинга	20	35,5	27
Изомеризат	1,5	5	5
Алкилат	0,3	11,2	5
Оксигенаты	0,2	3,6	2
Фракция прямой перегонки гидрокрекинга	13,3	3,1	7,3
Фракция термических процессов	4,9	0,6	0,5

Бензины каталитического риформинга, как видно из таблицы 1.1, являются основным компонентом при производстве бензинов в России и присутствуют в технологической схеме любого НПЗ. Они характеризуются высокими детонационными характеристиками – ОЧИ варьируется от 100 до 105 пунктов, ОЧМ – от 90-95 пунктов. Такие высокие октановые числа бензина каталитического риформинга обусловлены повышенным содержанием в них ароматических углеводородов (60-70 % мас.) и бензола, что ограничивает их вовлечение в производство товарных бензинов. Также недостатком риформатов является большая чувствительность между октановыми числами – 1-12 пунктов.

Вторым наиболее распространённым компонентом товарного бензина являются *продукты каталитического крекинга*. Октановые числа варьируются от 83 до 90 пунктов по исследовательскому методу, ОЧМ – от 75 до 81 пунктов. Основным недостатком бензинов каталитического крекинга является большая

чувствительность октановых чисел, составляющая 11-13 пунктов, поэтому даже бензины, полученные в наиболее жестких условиях с октановым числом 89-90 пункта по исследовательскому методу, имеют октановое число по моторному методу всего 78-81 пунктов. Достаточно низкие ОЧ продуктов каталитического крекинга обусловлены компонентным составом: содержание ароматических веществ достигает 20-30 % мас., содержание н-парафинов и изопарафинов – 50-60 % мас.

В последние годы *процесс изомеризации* (изомеризат) стал одним из самых выгодных способов получения высокооктановых и высококачественных компонентов бензина. Изомеризат обладает высокими октановыми числами (ОЧИ = 90-94 пунктов) и минимальной разницей между исследовательским и моторным октановыми числами (2-3 пункта) и, при этом не содержит ароматических соединений.

Наряду с изомеризатом превосходным компонентом высококачественных бензинов является *алкилат*. Алкилат имеет высокое октановое число (ОЧИ – от 98 пунктов), как и риформат, но при этом состоит в основном из изопарафиновых углеводородов и не содержит ароматических соединений. Однако установки алкилирования являются одними из наиболее дорогостоящих для строительства и эксплуатации, а алкилаты – одними из наиболее сложных в производстве компонентов бензинового пула, поэтому в настоящее время доля алкилата в товарных бензинах России составляет менее 1 % мас. [5, 6].

2. Для повышения октановых чисел товарных бензинов используются антидетонационные присадки и добавки-оксигенаты.

Добавки-оксигенаты – кислородсодержащие соединения, преимущественно сложные эфиры, являются одними из перспективных компонентов для получения высокооктановых бензинов. Наибольшее распространение из них получили метил-третбутиловый эфир (МТБЭ), его смесь с третбутиловым спиртом (фэтерол) и метил-третамиловый эфир (МТАЭ).

Максимально допустимая концентрация МТАЭ, как и МТБЭ, в бензинах составляет 15 % об. из-за его относительно низкой теплоты сгорания, высокой агрессивности по отношению к резинам и экологической опасностью выхлопных газов. Главными недостатками процесса производства МТБЭ являются высокая себестоимость продукта и ограниченные ресурсы сырья – изобутена, из-за чего возникает недостаток в объемах производства МТБЭ [7, 8].

3. Одним из главных факторов при смешении бензина является разработка подходящей под данное сырье и под данные условия рецептуры смешения бензина, которая позволит избежать перерасхода дорого и высокооктанового сырья и выпуска некондиционных партий бензина. Невозможность создать универсальную рецептуру смешения, постоянно меняющийся состав сырьевых потоков, а также отсутствие эффективных автоматизированных систем оперативного управления, которые позволяют оперативно корректировать рецептуру смешения при приготовлении товарных бензинов – все эти факторы значительно затрудняют производство товарных бензинов на промышленных предприятиях.

На сегодняшний день существует три основных метода смешения товарных бензинов:

- циркуляционный – приготовление производится в смесительных резервуарах;
- смешение в аппаратах с перемешивающими устройствами;
- непосредственное смешение в трубопроводах.

При производстве товарных нефтепродуктов путем компаундирования входящих в его состав компонентов чаще всего на производстве используется циркуляционный способ перемешивания жидкостей [9].

Широкое распространение получили смесители циркуляционного типа, принципиальная схема которых представлена на рисунок 1.2.

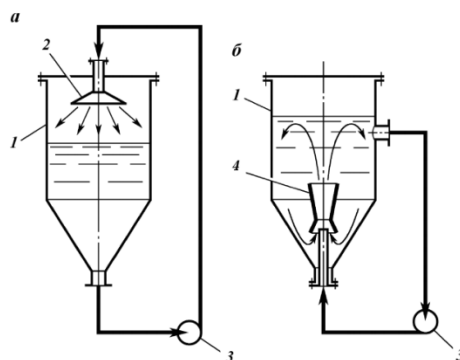


Рисунок 1.2 Схемы циркуляционных смесителей

а) смеситель с циркуляционным насосом; б) смеситель с циркуляционным насосом и эжектором; 1 – емкость; 2 – разбрызгиватель; 3 – циркуляционный насос; 4 – эжектор

Метод приготовления товарной продукции многократной циркуляцией через смесительные резервуары в общем случае заключается в следующем:

- компоненты товарных продуктов с технологических установок поступают в компонентные резервуары парков смешения, здесь происходит анализ качества этих потоков;
- определяется рецептура смешения бензинов, расход каждого из вовлеченных в смешение потоков, а затем нужное количество сырья из резервуара парка смешения насосами подаются в смесительный резервуар;
- приготовленный в смесительном резервуаре продукт забирается специальными насосами и многократно перекачивается по схеме «резервуар-насос-резервуар» до тех пор, пока в резервуаре не будет получена однородная по составу смесь. Данная смесь проходит анализ на качество и соответствие требованиям, предъявляемым к готовому продукту.

1.3 Комплексные решения и алгоритмы оптимизации производства товарных бензинов

Планирование операций по смешиванию бензина является важной проблемой в нефтеперерабатывающей промышленности. Эта задача не только демонстрирует комбинаторную природу, присущую задачам планирования, но

и имеет нелинейное поведение из-за смешения различных потоков с нелинейными свойствами. Как правило, оптимизация процессов нефтепереработки – это комплексная проблема, которая в дальнейшем разделяется на подзадачи, которые решаются независимо друг от друга. Решение подобных многокритериальных и многофакторных задач оптимизации требует использования высокоспециализированных алгоритмов и наиболее эффективно может быть выполнено с использованием метода математического моделирования и применения компьютерной моделирующей системы. Решение, полученное при использовании такого подхода, может быть улучшено путем объединения различных подзадач для проблем оптимизации в реальном времени.

Модели планирования можно разделить на две основные категории, основанные на обработке временной области: дискретная и непрерывная формулировки времени. В дискретно-временных моделях временной горизонт делится на несколько периодов известной длительности с фиксированным временем начала и окончания. В моделях непрерывного времени временной горизонт разбивается на временные интервалы, продолжительность которых определяется оптимизацией. В то время как модели непрерывного времени порождают проблемы с меньшим количеством дискретных переменных, чем их дискретные аналоги, они более сложны в формулировке и часто имеют много ограничений «big-M», которые из-за их слабых ослаблений [10], ставят под угрозу производительность вычислений.

Проблема производства бензинов смешением изучалась многими исследователями ввиду своей коммерческой значимости. Однако задача производства товарных бензинов имеет ряд ограничений, которые не всегда могут быть учтены в математических моделях. В некоторых случаях рецептуры смешения считаются фиксированными (т.е. их нельзя оптимизировать). Нисходящая проблема распределения или отгрузки (т.е. задачи своевременной доставки сырья) иногда также является частью проблемы смешанного планирования.

Математические модели для задач планирования обычно формулируются как задачи смешанного целочисленного линейного программирования (MILP). Однако для характеристик бензинов при смешении присуще нелинейное поведение, и для точности необходимо использовать смешанное целое нелинейное программирование (MINLP). Таким образом, методы линейной оптимизации являются неэффективными для описания данной задачи. Таким образом, необходим глобальный подход к оптимизации. Ниже предлагаются краткие обзоры работ по оптимизации процесса смешения бензинов.

Авторы работы [11] представили как дискретную, так и непрерывную модель MILP для планирования операций смешения бензина. Для обработки правил нелинейного наложения с сохранением линейности моделей использовался итерационный метод. Некоторые ключевые оперативные ограничения были опущены, и проблема распределения не рассматривалась.

Авторы статьи [11] разработали непрерывную модель MILP для одновременного планирования задач смешения бензина и операций распределения. Линейность модели поддерживалась за счет использования заданных предпочтительных рецептур. Данная модель впоследствии была расширена для планирования работы основных технологических установок на нефтеперерабатывающем заводе [12].

Авторы работы [13] используется двухуровневый подход, основанный на дискретной модели. Рецептуры смешения и производственные цели были вычислены сначала с использованием модели нелинейного программирования (NLP). Затем была использована модель MILP для решения краткосрочной задачи планирования с использованием таких рецептур и целей. Модель планирования была основана на представлении сети ресурсов-задач (RTN) и не учитывала многоцелевые резервуары или проблему планирования доставки.

В работе [14] была сформулирована модель MILP непрерывного времени с общей временной сеткой для всех единиц (т.е. смесителей и резервуаров). Коллектив авторов статьи [15] расширили и улучшили

представленную в работе [14] модель MILP, используя удельные сетки времени и включая большинство эксплуатационных ограничений, найденных на практике. Обе модели оптимизировали рецептуры смеси, используя индексы смешения. На основе работ [14, 15], автор статьи [16] представили единичную непрерывную временную нелинейную формулировку MINLP, где возникают условия обеспечения постоянной скорости смешивания.

Коллективом авторов [17] был разработан трехуровневый алгоритм декомпозиции, с помощью которого можно оптимизировать рецептуру, используя линейные и/или нелинейные правила смешивания. Они рассмотрели проблему распределения, пороговые ограничения размера смеси, параллельные неидентичные смесители, поворотные резервуары и время настройки, зависящее от продукта. Для каждого уровня была сформулирована дискретно-временная модель. Первый уровень оптимизировал рецептуры смеси, второй уровень приблизил производственный график, а третий уровень рассчитал подробный график смешения и доставки. Решения, полученные с использованием данного подхода, были лучше, и время выполнения для больших задач было на два порядка меньше, чем у предыдущих методов [15, 14].

В своей последующей работе коллектив авторов статьи [18] представили существенно модифицированную версию модели непрерывного планирования от авторов статьи [15] (с меньшим числом бинарных переменных [19]) для работы с третьим уровнем. Авторы [20] предложили другую формулировку многопериодической проблемы объединения.

Для улучшения линейного ослабления были добавлены избыточные ограничения, и модель была решена с использованием двухэтапного подхода MILP-NLP. MILP был ослаблением оригинальной модели MINLP. Модель NLP была получена путем фиксации целочисленных переменных исходной модели к значениям, вычисленным MILP.

В работе [21] авторами представлена формулировка MILP непрерывного времени, которая использует плавающие слоты, динамически выделяемые

временными периодами при решении задачи. Модель включала большинство оперативных ограничений, обнаруженных на практике. Затем в статье [22] авторы расширили модель для обработки нелинейных правил смешения, тем самым сформулировав непрерывную модель MINLP. Примерная формулировка MILP была получена путем замены нелинейных правил наложения линейными индексами наложения. Значения двоичных переменных, вычисленных этим MILP, были зафиксированы в исходном MINLP, таким образом, став NLP, который был решен, чтобы найти почти оптимальное решение исходной задачи.

В последней опубликованной работе коллектив авторов статьи [23] предлагает глобальный алгоритм оптимизации для решения ранее опубликованной модели нелинейного смешанного целочисленного планирования в непрерывном режиме работы при смешении бензина. Модель включает оптимизацию рецептур смешения, проблему распределения и несколько важных операционных функций и ограничений. Алгоритм использует кусочное ослабление Маккормика (PMCR) и нормализованную многопараметрическую методику дезагрегирования (NMDT) для вычисления оценок глобального оптимума. Эти методы разбивают область одной из переменных на билинейный член и генерируют выпуклые ослабления для каждого разбиения. За счет увеличения числа разбиений и уменьшения области переменных алгоритм способен уточнять оценки глобального решения. Алгоритм сравнивается с двумя коммерческими комплексными системами и двумя эвристическими методами, решая четыре примера из литературы. Результаты показывают, что предложенный алгоритм глобальной оптимизации работает наравне с коммерческими системами, но не так быстро, как эвристические подходы.

В работе [24] предложен улучшенный метод кусочной линеаризации (LTPL) логарифмического преобразования. При применении кусочно-линейного подхода к преобразованию невыпуклых программ часто речь идет о большом масштабе размера задачи и вычислительного времени, особенно для

проблемы производства бензинов на нефтеперерабатывающих заводах. Обычные методы кусочной линеаризации сосредотачиваются на одномерных выражениях или линейных комбинациях из них. Метод LTPL направлен на преобразование сложных многопараметрических выражений с несколькими переменными в выражения с одной переменной путем выполнения ряда преобразований логарифмов, а затем метод реформирует новые задачи программирования MILP путем кусочной линеаризации на основе метода «big-M». Согласно вышеизложенному обсуждению, количество переменных может быть уменьшено методом LTPL, и тогда масштаб моделей можно управлять. Данный метод был успешно применен к процессу смешения бензина на нефтеперерабатывающем заводе. Метод показал себя способным в короткие сроки найти приближенные глобальные оптимальные решения. В заключение, метод LTPL способен уменьшить размер линеаризации задач, содержащих смешанные многоуровневые ограничения, и преобразовать сложные выражения NLP в MILP, что приведет к более быстрому решению задачи производства бензинов.

1.4 Существующие методы и программные решения для оптимизации смешения бензинов

Проблема планирования и оптимизации смешения товарных бензинов является крайне актуальной для всех промышленных предприятий – производителей данного типа моторного топлива. В результате многолетних исследований, с использованием химических, математических и программных подходов, были представлены различные алгоритмы и моделирующие системы на их основе для планирования и оптимизации процесса смешения товарных бензинов. В ряде работ описан наиболее широко используемый на предприятиях нефтепереработки алгоритм линейного программирования, а также методы по улучшению данного алгоритма в соответствии с современным состоянием производства.

Задача о смешении компонентов может рассматриваться, как типовая задача линейного программирования, однако тот факт, что большинство показателей качества бензинов не подчиняются законам аддитивности, значительно усложняет расчеты.

Одной из самых распространенных систем моделирования на основе линейного программирования (LP) является система «Aspen PIMS», которая предназначена для экономического планирования процесса смешения в перерабатывающих отраслях промышленности. Aspen PIMS используется для оптимизации работы и проектирования нефтеперерабатывающих, нефтехимических и химических предприятий и иных объектов перерабатывающей промышленности. Данный программный комплекс используется для решения самых разнообразных задач краткосрочного, среднесрочного и стратегического планирования, в том числе:

- выбора сырья;
- оптимизация смешения продуктов;
- планирование производства;
- комплексная оптимизация;
- планирование инвестиций.

Также выпущена улучшенная разработка «Aspen – PIMS-AO» – система объемного планирования с возможностями нелинейного моделирования и оптимизации, тогда как «Aspen PIMS» является инструментом линейного моделирования и оптимизации.

Несмотря на большую распространённость системы «Aspen PIMS», программное обеспечение не позволяет оптимизировать и управлять процессами смешения, однако на рынке существуют разработки, которые являются более эффективными оптимизаторами процесса смешения бензинов (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Разработки по оптимизации и управлению процессом смешения бензинов

Наименование фирмы	PCY	Online модуль	Offline модуль
ABB	RBC (Regulatory Blend Control)	ABC (Advanced Blend Control)	–
Faxboro	DBS (Digital Blending System)	BOSS (Blend Optimization and Supervisory System)	BPO (Blend Planning Optimizer)
Honeywell	EBC (Experion Blend Controller)	Open BPC (Open Blend Property Control)	BLEND
Siemens	ILB (Inline Blending, Baustein für PSC7)	–	–
Emerson	Delta Blend Control	Advanced Blend Control Modules	–
Yokogawa	fitOMS Blend	fitOMS Blend BPC/Optimizer	–
Aspen Tech	–	Aspen-Blend	MBO (Multi Blend Optimizer)

Одной из самых эффективных разработок в данной области является комплексная система управления смешением компании «Honeywell». Компанией разработана система трехуровневого управления – offline-оптимизация (начальный оптимальный рецепт); online-оптимизация (оптимизация текущего рецепта); PCY (автоматическое ведение процесса смешения). Комплексная система, структура которой представлена на рисунке 1.3, включает в себя следующие элементы: связь с расходомерами, потоковыми online анализаторами качества потоков, продуктовыми резервуарами и снабжена алгоритмами прогнозирующего контроля показателей качества, библиотеками данных и отчетов по смешению. Трехуровневая система управляет всеми поточными циклами смешения от начала до конца, осуществляя при этом контроль неисправностей оборудования и сбоев выполнения процесса, с целью обеспечения соответствия полученных смесей требованиям, предъявляемым к товарным продуктам.

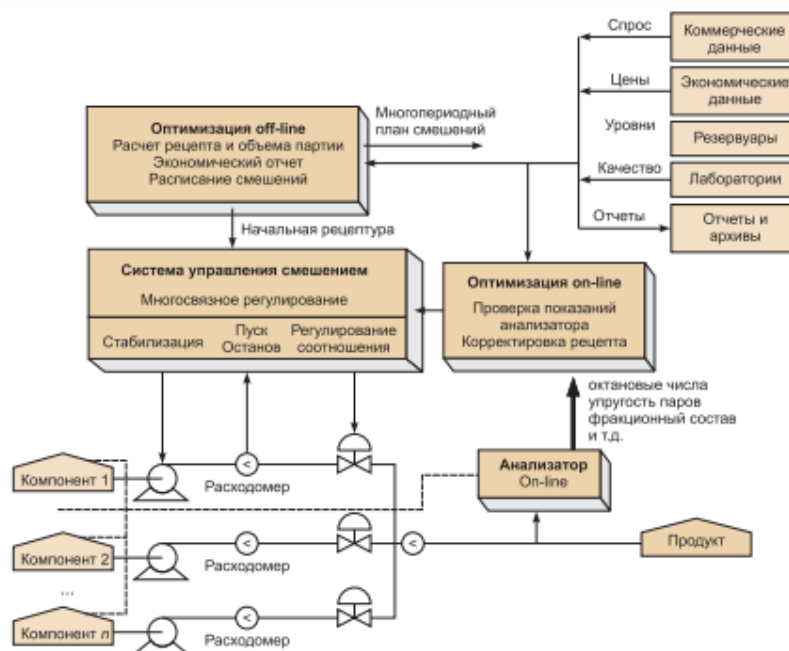


Рисунок 1.3 Система трехуровневого управления компании «Honeywell»

При получении исходной смеси бензиновых компонентов ключевым показателем экономического эффекта является «качественное перепроизводство», т.е. избыток, который имеет действующее свойство бензина (например, ОЧ) в отношении его номинальной величины в спецификациях. Такой излишек означает прямые потери в экономическом выражении, поскольку в процессе производства получается более качественный бензин, который будет продаваться по той же цене; поэтому оптимальная композиция смеси бензина должна минимизировать качество надбавки для коммерческих характеристик бензина [25].

Таким образом, оптимальный рецепт смешения должен гарантировать получение качественного товарного продукта (удовлетворяющего всем спецификациям) с минимальной себестоимостью, то есть минимальным «перепроизводством – запасом качества». Однако проблема разработки рецептуры состоит в том, что большинство показателей качества являются неаддитивными величинами, также существует необходимость учитывать состояние резервуарного парка – объем, качество и стоимость начальных запасов компонентов и продуктов, стоимость хранения, требования к конечным запасам, что приводит к еще большему усложнению задачи.

Все эти факторы приводят к тому, что решить задачу определения оптимальной рецептуры без использования вычислительных систем становится невозможно, и на сегодняшний день существует несколько программных продуктов, предназначенных для решения данной задачи в режиме offline (BLEND – «Honeywell», BPO – «Foxboro», MBO – «AspenTech»).

На рисунке 1.4 показано применение системы offline планирования BLEND компании «Honeywell».

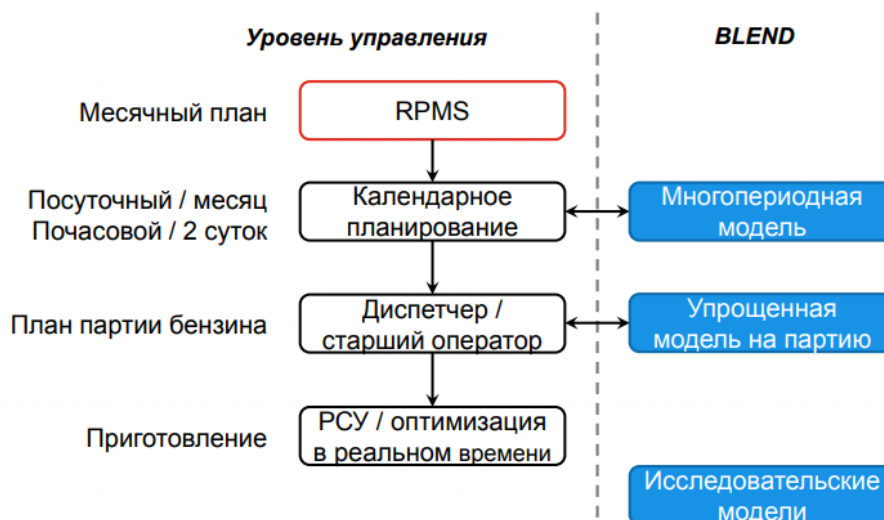


Рисунок 1.4 Система управления BLEND

Система *BLEND* применяется для расчета оптимальных рецептур смешения, расчета объемов партии, выбора компонентных и продуктовых резервуаров.

Задача нахождения оптимальной рецептуры представляет собой многомерную нелинейную оптимизационную задачу и offline модуль должен обладать мощным решателем задач последовательного линейного и целочисленного программирования.

Основными исходными данными для системы являются:

- качество, число и стоимость доступных компонентов, запасов в компонентных и товарных резервуарах;
- требования к товарному бензину (спецификация, композиция, целевая рецептура);
- штрафы за нарушение ограничений.

Модуль должен включать различные известные нелинейные модели смешения октановых чисел, индексы для нелинейного смешения давления насыщенных паров и наиболее универсальный аппарат нелинейного смешения – бонусы смешения

Далее после offline планирования необходимо правильно смешать потоки, для этого была разработана *распределительная система управления (PCU)* (рисунок 1.5). Система выполняет:

1. Расчет заданий расходов для регуляторов компонентов на основе рецепта смеси;
2. Ввод заданий расхода для каждого регулятора компонента;
3. Запуск каждого из насосов;
4. Отслеживание процесса смешения и изменение заданий для регуляторов по необходимости;
5. Останов каждого из насосов;
6. Закрытие регуляторов.

Но базовой системы недостаточно для эффективного управления – не существует автоматического выполнения алгоритма смешения партии и при отклонениях от начального рецепта система не может быстро реагировать на изменения. Для этого была создана надстройка для системы – Profit Blend Controller.

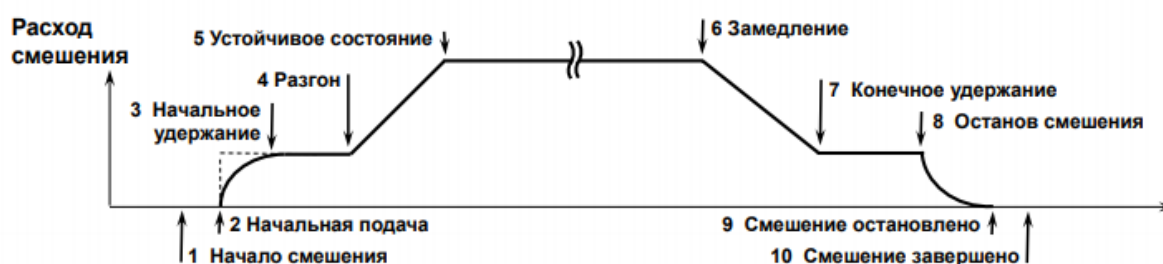


Рисунок 1.5 Выполнение алгоритма смешения партии

Дополненный алгоритм смешения партии выполняет следующие функции:

1. Выполнение алгоритма смешения партии;

2. Поддержание процентного состава компонентов в соответствии с рецептом;
3. Мониторинг нештатных условий смешения, принятие, корректирующих мер;
4. Снижение расхода в процессе смешения в случае невозможности для регулятора расхода выдерживать заданный расход;
5. Отслеживание материальных балансов и свойств смеси, отчеты о смешении;

Следующим шагом является *online оптимизатор качества смеси* – Open Blend Property Control (ОВРС) – система управления, которая осуществляет анализ свойств (характеристик) бензина, оптимизирует текущую композицию смеси и поддерживает качество смеси в режиме реального времени.

Система реализует схему управления с обратной связью, используя анализатор качества потока, который измеряет свойства потока товарного бензина. Качество компонентов в композиции может измерять с помощью анализатора потока или лабораторного оборудования в соответствии с графиком контроля. В каждом рабочем цикле анализатора потока система корректирует текущую рецептуру исходя из поступающих данных о качестве всей смеси и ее компонентов.

Основными функциями online системы являются:

- проверка данных анализатора потока;
- динамика анализа и компенсации динамики потока;
- компенсации смещения модели (т.е. расчет отклонения между измеренными и модельными бензиновыми свойствами);

Рассчитывается следующим образом:

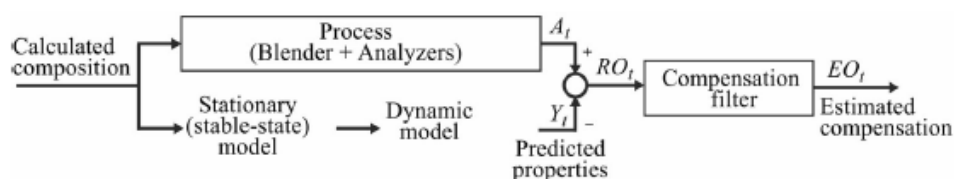


Рисунок 1.6 Модель компенсации при смешении

$$EO_t = \alpha EO_{t-1} + (1 - \alpha) RO_t \quad (1.1)$$

$$\alpha = e^{-T/t} \quad (1.2)$$

EO_t – фильтровая (конечная) компенсация; RO_t – исходная компенсация; Calculated composition – Рассчитанный состав смеси; Process (Blender + Analyzers) – процесс (смешение+анализ); Stationary (stable-state model) – стационарная модель; Dynamic model – динамическая модель; Predicted properties – спрогнозированные значения свойств; Compensation filter – компенсационный фильтр; Estimated compensation – достигаемая (конечная) компенсация

- получение данных по качеству компонентов;
- текущий мониторинг состояния бензиновых смесей;
- сбор данных о смешении бензинов для оптимального проектирования управляющих воздействий;
- оптимальные управляющие действия передаются обратно в систему управления смешением в виде скорректированной рецептуры смешения компонентов.

Оптимизатор состава смеси выполняет следующие задачи:

- вычисляет пределы для каждого компонента в рецептуре смешения, а также для каждого контроллера скорости потока используя данные из системы управления смешением и конфигурации системы;
- инвертирует рассчитанные пределы для компонентов и контроллеров скорости потока для оптимизации процесса смешения;
- осуществляет расчет новой рецептуры смешения (в зависимости от объема или скорости потока), а также прогнозирует свойства бензина для смесителя и их средние значения.

Система получает данные о качестве промышленного процесса из нескольких источников, а именно: анализатора, лабораторных измерений, базы данных состава, ручного ввода и модели оценки. Состав смеси рассчитывается с использованием различных данных и моделей.

В случае двух или более объективных функций система выполняет оптимизацию смешения несколькими последовательными шагами, каждый из которых включает соответствующую целевую функцию. Каждый последующий

шаг сохраняет оптимальный результат, достигнутый на предыдущем шаге, и принимает оставшиеся степени свободы для оптимизации следующей целевой функции.

Online система управления требует анализа качества смеси в потоке. В этом контексте отметим, что надежные измерения анализаторов в потоке невозможны без периодической проверки и коррекции исходной калибровочной модели этих анализаторов.

Online системы оптимизации смешения для производства товарного бензина были реализованы на многих НПЗ страны. Как правило, нефтеперерабатывающие заводы применяют традиционные схемы смешения бензина со специальными резервуарами для компонентов и потоков периодического производства (периодическая работа системы смешения). Однако, некоторые нефтеперерабатывающие заводы не имеют сырьевых резервуаров (т.е. компоненты поставляются в смесители непосредственно из установок), а промышленный процесс является непрерывным. Отсутствие таких сырьевых резервуаров заметно усложняет управление, поскольку входящие потоки должны быть полностью задействованы в процессе смешения.

Кроме того, одновременно готовится несколько продуктов, для которых требуется специальный резервуар для, так называемых, «безусловных продуктов» (избыточные объемы для данной смеси). Когда резервуар заполняется, безусловные продукты затем используются в качестве сырьевых компонентов.

Очень часто экономический эффект от внедрения online систем управления смешением часто меньше, чем от offline оптимизации. Оптимизация offline учитывает больше факторов, модель смешения рассматривает больше аспектов, а процесс оптимизации включает значительно большее число переменных. Проблема автономной оптимизации решается путем последовательного линейного и целочисленного программирования, что дает глобальное квазиоптимальное решение. С другой стороны, online

оптимизация фокусируется на более узкой задаче с меньшим числом переменных, использует нелинейный решатель и методы второго порядка, а также дает локальный оптимум. Следовательно, основными факторами смещения являются существующая обратная связь с анализатором потока, а также алгоритмы усреднения и сглаживания данных, используемые в online оптимизации. Это уменьшает неизбежные погрешности измерения расхода и свойств бензина. Кроме того, проблема решается в режиме online с периодом в несколько минут (не один раз, как в случае автономной оптимизации).

Следовательно, если online-системы оптимизации смещения применяются автономно, то экономический эффект немного меньше, чем при offline оптимизации. Совместное использование обеих систем (двухуровневая оптимизация) позволяет значительно улучшить автономный оптимум путем дальнейшей online оптимизации, что дает конкретный экономический эффект за счет сохранения самых дорогих (высокооктановых) компонентов.

Так например: по данным «Honeywell» суммарный экономический эффект может составлять до 70 центов на баррель товарного бензина.

Для НПЗ «ЛукойлВолгограднефтепереработка» подтвержден годовой экономический эффект 6,7 млн. долл. США. Основными составляющими экономии при этом являлись уменьшение расхода высокооктановых компонентов и уменьшение отдачи качества [26].

Таким образом, проанализировав системы оптимизации смещения бензинов можно сделать вывод, что к достоинствам большинства существующих программных продуктов следует отнести:

- обширные базы данных, включающие десятки тысяч компонентов;
- возможность моделирования широкого круга процессов;
- развитый графический интерфейс, позволяющий достаточно просто создавать и изменять топологию технологических схем;

Однако у подобных систем существует ряд недостатков:

- требуются большие затраты на приобретение и поддержку (десятки – сотни тысяч долларов США);

- в расчетах часто учитываются не физико-химические закономерности процессов, а статистические, что в конечном итоге влияет на точность прогнозных расчетов;
- в оптимизационных расчетах процессов главную роль играет экономическая составляющая, что порой не является главным критерием на производстве.

Проведенный анализ имеющихся программных продуктов и библиотек программ демонстрирует актуальность разработки новых программных пакетов, алгоритмов оптимизации и корректировки рецептур смешения, способных заменить и/или дополнить существующие решения, с целью повышения ресурсоэффективности стадии смешения за счет увеличения объемов выпуска продукции, снижения нежелательных запасов по качеству и во избежание перерасхода дорогостоящих компонентов.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование [39]. На рисунке 5.1 представлена карта сегментирования рынка по виду оказываемой услуги с применением компьютерной моделирующей системы для оптимизации процесса смешения бензинов.







Потребитель	Вид услуги		
	Продажа программного продукта	Оказание услуг по исследованию и оптимизации	Продажа тренировочной версии
Крупные НПЗ			
Средние НПЗ			
Малые НПЗ			
Образовательные учреждения			
Проектные организации			

Рисунок 5.1– Потенциальные потребители результатов исследования



- фирма А



- фирма Б



- фирма В

На Рисунке 5.1 показано, какие ниши на рынке услуг по применению математической модели не заняты конкурентами или где уровень конкуренции низок.

Анализ конкурентных технических решений

В данном разделе проведен анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения с целью оценки сравнительной эффективности научной разработки, и определения направления для ее будущего повышения. В оценочной карте (Таблица 5.1), сведены данные о трех конкурентных решениях и разработках, существующих на рынке: AspenPIMS, BOSS, OpenBPC.

Таблица 5.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкурентоспособность			
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	Б _{к3}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}	К _{к3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Технические критерии оценки ресурсоэффективности									
1. Повышение производительности труда пользователя	0,075	5	5	5	5	0,375	0,375	0,375	0,375
2. Надежность	0,03	4	5	4	4	0,12	0,15	0,12	0,12
3. Потребность в ресурсах памяти	0,035	5	4	4	4	0,175	0,14	0,14	0,14
4. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,125	4	5	5	4	0,5	0,625	0,625	0,5
5. Простота эксплуатации	0,12	5	4	4	4	0,6	0,48	0,48	0,48
6. Качество интеллектуального интерфейса	0,06	4	5	5	5	0,24	0,3	0,3	0,3
7. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,075	5	5	5	5	0,375	0,375	0,375	0,375
Экономические критерии оценки эффективности									
1. Конкурентоспособность продукта	0,08	4	5	5	5	0,32	0,4	0,4	0,4
2. Цена	0,2	5	2	2	2	1	0,4	0,4	0,4
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	5	5	5	0,25	0,25	0,25	0,25
4. Послепродажное обслуживание	0,1	5	4	4	4	0,5	0,4	0,4	0,4
5. Наличие сертификации разработки	0,05	5	5	5	5	0,25	0,25	0,25	0,25
Итого	1	-	-	-	-	4,705	4,145	4,115	3,99

где B_{ϕ} – баллы предлагаемой разработки (комплексной системы для повышения ресурсоэффективности процесса производства бензинов);

$B_{к1}$ – баллы первого конкурента (AspenPIMS);

$B_{к2}$ – баллы второго конкурента (BOSS);

$B_{к3}$ – баллы третьего конкурента (Honeywell's Open Blend Property Control (OpenBPC)).

Анализ конкурентных технических решений определялся по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i = 4,705, \quad (5.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Коэффициент конкурентоспособности определялся по формуле:

$$KC = \frac{K}{K_{к_{\max}}} = \frac{4,705}{3,99} = 1,18, \quad (5.2)$$

где KC – коэффициент конкурентоспособности разработки;

$K_{к_{\max}}$ – максимальная конкурентоспособность конкурента.

Основываясь на знаниях о конкурентных решениях, можно заключить, что уязвимость позиции конкурентов обусловлена в основном высокой ценой их разработок, а также необходимостью предприятиям дополнительно выплачивать значительные суммы денег за диагностику неполадок, улучшение и обновление их продукции. Также, имеют место технические недостатки разработок, такие, как отсутствие учета физико-химической природы процесса производства бензинов, что в свою очередь, реализовано в данном проекте. За счет этого станет возможным занять нишу на рынке программного обеспечения, и сотрудничать со средними и крупными нефтеперерабатывающими предприятиями, предлагая им свою разработку в качестве альтернативы или дополнения к существующим на предприятии системам.

Апробации разработки на реальных промышленных данных подтвердили точность производимых вычислений, что и являлось объектом интереса потенциальных партнеров. Дальнейшая работа будет направлена на улучшение интерфейса, расширение функционала и стабильности разработки, что поможет создаваемому продукту быть более гибким в условиях производства и завоевывать доверие большего числа покупателей.

Диаграмма Исакавы

Для формирования причинно-следственных связей было использовано инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления - диаграмма Исакава. Проблемной темой в данном случае является получение неэффективного алгоритма поиска оптимальных рецептов. На рисунке 5.1 представлена причинно-следственная диаграмма Исакавы для компьютерной моделирующей системы для оптимизации процесса смешения бензинов.

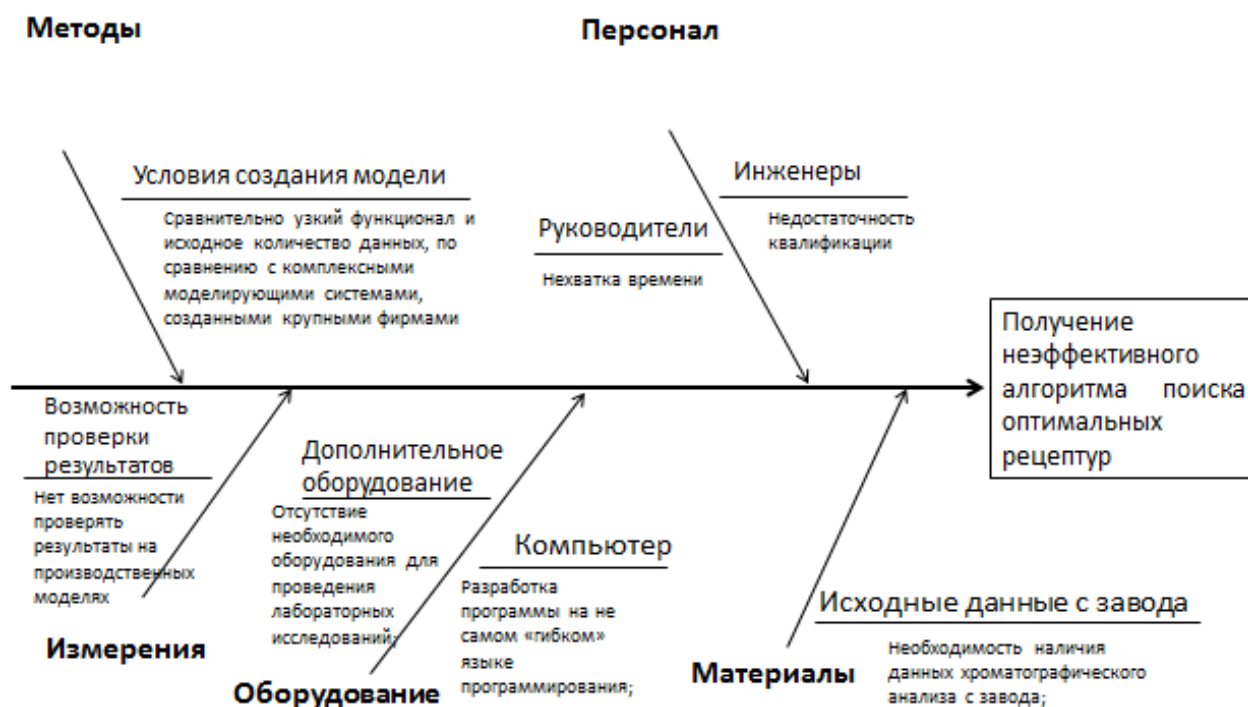


Рисунок 5.2. Диаграмма Исакавы

Оценка готовности проекта к коммерциализации

В Таблице 5.3 приведены показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта.

Таблица 5.3 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
Определен имеющийся научно-технический задел	5	4
Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	4
Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	5
Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	5
Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	4
Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	3
Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	3
Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	3
Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	2
Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	2
Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	4
Проработан механизм реализации научного проекта	2	4
ИТОГО БАЛЛОВ	48	54

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i = 48 + 54 = 102, \quad (5.3)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению; B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}=102$ позволяет говорить о том, что разработка считается перспективной, а знания разработчика достаточны для успешной ее коммерциализации.

По результатам оценки можно сделать вывод о необходимости увеличения объемов инвестирования в текущую разработку, улучшения уровня компетенций в вопросах продвижения проекта на международный рынок, использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот и финансирования коммерциализации научной разработки.

Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

При коммерциализации данной технической разработки – компьютерной моделирующей системы - преследуются следующие цели: это получение средств для продолжения научных исследований и разработок (получение финансирования, оборудования, уникальных материалов, других научно-технических разработок и т.д.), одноразовое получение финансовых ресурсов для оплаты труда сотрудников.

В данном случае будем использовать следующие методы коммерциализации научных разработок:

1. Торговля патентными лицензиями, т.е. передача права использования программного продукта на лицензионной основе в различные НПЗ, а также научно-исследовательские институты.

2. Инжиниринг, как самостоятельный вид коммерческих операций: предоставление на основе договора инжиниринга в рамках хозяйственного договора комплекса видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, оптимизацией и корректировкой текущих рецептов и условий введения процесса смешения бензинов.

5.2 Инициация проекта

Определяем устав проекта:

Цели и задачи проекта

В таблице 5.4 представлена информация о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 5.4 - Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Заказчики (НПЗ)	Создание относительно недорогой по сравнению с мировыми аналогами и эффективной компьютерной моделирующей системы (+первоначально алгоритм смешения бензинов), которая позволит получить экономическую прибыль.
Спонсоры (ТПУ)	Создание эффективной системы, хозяйственные договора с предприятиями, коммерциализация проекта;

В таблице 5.5. представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 5.5. Цели и результат проекта

Цели проекта:	Повысить эффективность процесса смешения товарных бензинов с использованием нового алгоритма смешения бензинов (вид алгоритма – компьютерная моделирующая система).
Ожидаемые результаты:	Создание алгоритм онлайн корректировки и моделирующей системы на ее основе.

	Повышение экономической эффективности производства бензинов на 10 %.
Критерии приемки результата проекта:	Результаты по корректировке и успешное их применение их на заводе.
Требования к результату проекта:	Адекватность разработанной системы
	Небольшой рок внедрения модели
	Простота в использовании

Команда проекта – группа лиц, выполняющих определённые функции в рамках реализации проекта для достижения его целей. Информация об организационной структуре проекта представлена в таблице 5.6.

Таблица 5.6. Организационная структура проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо- затра- ты, дней
1.	Киргина Мария Владимировна, доцент отделения химической инженерии ТПУ	Руководитель	Разработка технического задания, выбор направления исследований, оценка результатов, разработка математической модели	90
2.	Свиридова Елизавета Витальевна, студент группы 2КМ61 ТПУ	Исполнитель по проекту	Теоретические и экспериментальные исследования, расчет на разработанной модели,	490

			оформление отчета по НИР	
3.	Криницына Зоя Васильевна, доцент отделения социально- гуманитарных наук ШИП НИ ТПУ	Руководитель проекта по разделу «Ресурсоэффек- тивность и финансовый менеджмент»	Координация выполнения раздела «Ресурсоэффекти- вность и финансовый менеджмент»	2
4.	Авдеева Ирина Ивановна, ассистент	Руководитель по разделу «Социальная ответствен- ность»	Координация выполнения раздела «Социальная ответственность»	2
5.	Сыскина Анна Александровна, доцент отделение иностранных языков НИ ТПУ	Руководитель проекта раздела на английском языке	Координация выполнения раздела на английском языке	2
ИТОГО:				586

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

В таблице 5.7 приведены возможные ограничения научно-технического исследования.

№	Фактор	Ограничения/допущения
1.	Бюджет проекта	-
2.	Источник финансирования	-
3.	Сроки проекта:	01.02.2018-28.05.2018 г.
3.1	Дата утверждения плана управления проектом	01.02.2018 г.
3.2	Дата завершения проекта	28.05.2018 г.

5.3 Планирование научно-исследовательских работ

5.3.1 Иерархическая структура работ проекта





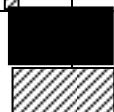

В Таблице 5.8 составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ.

Таблица 5.8 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель, магистр
Теоретические исследования	3	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
	4	Изучение литературы: назначение процесса, термодинамический анализ реакций, составление формализованной схемы превращений	Магистр
	5	Разработка кинетической модели	Руководитель, магистр
Обобщение и оценка	6	Проверка модели на адекватность	Магистр
	7	Расчет на разработанной математической модели	Магистр

результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Магистр
	9	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель
Обобщение и оценка результатов	10	Составление пояснительной записки	Магистр
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	11	Подготовка к защите дипломной работы	Магистр
	12	Защита дипломной работы	Магистр, руководитель
	13	Сдача работы на рецензию	Магистр

Таблица 5.8 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
			февр.		март			апрель			май			июнь	
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4													
Выбор направления исследований	Руководитель Магистр	4													
Обзор современной периодической литературы по выбранному направлению	Руководитель Магистр	3													
Календарное планирование работ по теме	Руководитель, Магистр	1 1													
Разработка схемы функционирования продукта	Руководитель, Магистр	13 14													
Теоретическое обоснование и выбор экспериментальных методов исследований	Руководитель Магистр	15													

Продолжение таблицы 5.8

Построение моделей и проведение экспериментов	Руководитель Магистр	5													
Сопоставление расчетных данных с фактическими	Магистр	2													
Калибровка модели и её улучшение	Руководитель Магистр	5													
Оценка эффективности применения разработки	Руководитель Магистр	4													
Составление пояснительной записки	Руководитель, Магистр	21													
Сдача работы на рецензию	Магистр	3													
Предзащита	Руководитель, Магистр	1 1													
Подготовка к защите дипломной работы	Магистр	16													
Защита дипломной работы	Магистр	1 1													

 – руководитель,  магистр.

Определение трудоемкости выполнения работ

Ожидаемая трудоемкость выполнения [39]:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{мин}i} + 2t_{\text{макс}i}}{5} \quad (5.4)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\text{мин}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\text{макс}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Ожидаемая трудоемкость для этапов работы приведенных в таблице 5.7 рассчитывается по формуле (5.4):

$$t_{\text{ож}1} = \frac{3 * 2 + 2 * 2}{5} = 2,4, \text{ чел.-дн.}$$

Продолжительность каждой работы в рабочих днях [39]:

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i} \quad (5.5)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Продолжительность каждого этапа работы, приведенных в таблице 5.7, рассчитывается по формуле (5.5):

$$T_{p1} = \frac{2,4}{1} = 2,4$$

Разработка графика проведения научного исследования

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (5.6)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Продолжительность выполнения каждого этапа работы, приведенных в таблице 5.3, рассчитывается по формуле (5.6).

$$T_{k1} = 2,4 \cdot 1,48$$

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (5.7)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 119} = 1,48$$

Расчета длительности выполнения этапов НИР представлены в таблице 5.9.

Таблица 5.9– Временные показатели проведения научного исследования

№	Название работы	Трудоёмкость работ						Исполнители		Длительность работ в рабочих днях, T _{pi}		Длительность работ в календарных днях, T _{ki}	
		t _{max} , чел-дни		T _{min} , чел-дни		t _{ож.} чел-дни							
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2
1	Составление и утверждение технического задания	3		2		2,4		Р		2,4		4	
2	Выбор направления исследований	2	2	1	1	1,4	1,4	Р	М	0,7	0,7	1	1
3	Календарное планирование работ по теме	4		2		2,8		Р		2,8			4
4	Изучение литературы		14		7		9,8		М		9,8		15
5	Экспериментальная часть		2		1		1,4		М		1,4		2

6	Проверка модели на адекватность		1		1		1		М		1		2
8	Определение целесообразности проведения ОКР	1		1		1		Р		1		2	
9	Составление пояснительной записки		7		5		5,8		М		5,8		9
10	Подготовка к защите дипломной работы		14		7		9,8		М		9,8		15
11	Защита дипломной работы	1	1	1	1	1	1	Р	М	0,5	0,5	1	1

5.3.2 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением[39].

Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле[39]:

$$З_{\text{м}} = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{\text{расх}i} \quad (5.8)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

Π_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты на приобретение тетради рассчитываются по формуле (4.6):

$$З_{\text{м}} = (1 + 8) \cdot 40 \cdot 1 = 360$$

Для остальных видов материальных ресурсов расчет аналогичен. Результаты в таблице 5.10.

Таблица 5.10 – Материальные затраты

Наименование	Ед-ца измерения	Количество		Цена за ед. с НДС, руб.		Затраты на материалы, (З _м), руб.	
		Руководитель (Р)	Магистрант (М)	Р	М	Р	М
Бумага для принтера	листов	200	500	1	1	240	600

Тетрадь для записей	шт	2	4	30	30	72	144
Ручка	шт.	2	4	20	20	48	96
Краска для принтера	мл.	100	300	5	5	600	1800
Итого, руб.						3600	

Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Расчет затрат на приобретение программного обеспечения (ПО) в таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Расчеты затрат на приобретение ПО

Наименование ПО		Стоимость ПО с НДС, руб.	
Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
Microsoft office	Microsoft office	3590	3590
-	Delphi		49780
Итого:		3590	53370

Расчет заработной платы

Основная заработная плата руководителя (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1) оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями. Доцент - 28900 руб, магистрант – 1854 руб.

2) стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

3) иные выплаты; районный коэффициент. 1,3.

$$З_{\text{м}}^{\text{доцент}} = \text{Оклад} \cdot k_p = 28900 \cdot 1,3 = 37570 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{м}}^{\text{магистр}} = \text{Оклад} \cdot k_p = 1854 \cdot 1,3 = 2410 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}}^{\text{доцент}} = \frac{З_{\text{м}}^{\text{доцент}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{37570 \cdot 10,4}{242} = 2067,3 \text{ руб.};$$

$$З_{\text{дн}}^{\text{магистр}} = \frac{З_{\text{м}}^{\text{магистр}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{2410 \cdot 10,4}{242} = 132,6 \text{ руб.},$$

$З_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 5.12).

Таблица 5.12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель
Календарное число дней	366
Количество нерабочих дней: выходные и праздничные дни	66
Потери рабочего времени	
- отпуск	48
- невыходы по болезни	10
Действительный годовой фонд рабочего времени	242

Основная заработная плата ($З_{\text{осн}}$) руководителя от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{\text{осн}}^{\text{доцент}} = З_{\text{дн}}^{\text{доцент}} \cdot T_p = 2067,3 \cdot 3,8 = 7855,7 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{осн}}^{\text{магистр}} = З_{\text{дн}}^{\text{магистр}} \cdot T_p = 132,6 \cdot 20,4 = 2705 \text{ руб}$$

$З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{осн}$).

$$З_{зп}^{доцент} = (15\% \cdot 7855,7) + 7855,7 = 1178,4 + 7855,7 = 9034,1 \text{ руб.}$$

$$З_{зп}^{магистр} = (15\% \cdot 2705) + 2705 = 405,8 + 2705 = 3110,8 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (5.9)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

$$З_{внеб}^{доцент} = 27,1\% \cdot 9034,1 = 2448,2 \text{ руб.}$$

Накладные расходы

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$З_{накл} = k_{накл} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (5.10)$$

где $k_{накл}$ – коэффициент накладных расходов.

$$З_{накл}^{доцент} = 75\% \cdot 9034,1 = 6775,6 \text{ руб.}$$

Формирование бюджета затрат научно исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 5.13.

Таблица 5.13 - Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Текущий проект	Аналог1	Аналог1
1. Материальные затраты НТИ	3600	3650,0	3500,0
2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ	3590	3590	3590
3. Затраты по заработной плате исполнителей темы	7855,7	7855,7	7855,7
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	1178,4	1178,4	1178,4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	2448,2	2448,2	2448,2
6. Накладные расходы	6775,6	6775,6	6775,6
7. Бюджет затрат НТИ	25447,9	25497,9	25347,9

Согласно полученным результатам бюджет затрат НТИ составляет 18672 рубля.

5.3.3 Организационная структура проекта

Для выбора наиболее подходящей организационной структуры используем Таблицу 5.14.

Таблица 5.14 – Выбор организационной структуры научного проекта

Критерии выбора	Функциональная	Матричная	Проектная
Степень неопределенности условий реализации проекта	Низкая	Высокая	Высокая
Технология проекта	Стандартная	Сложная	Новая
Сложность проекта	Низкая	Средняя	Высокая

Взаимозависимость между отдельными частями проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Критичность фактора времени (обязательства по срокам завершения работ)	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимосвязь и взаимозависимость проекта от организаций более высокого уровня	Высокая	Средняя	Низкая

Исходя из специфики данной работы, используем проектную организационную структуру научного проекта (Рисунок 5.3).

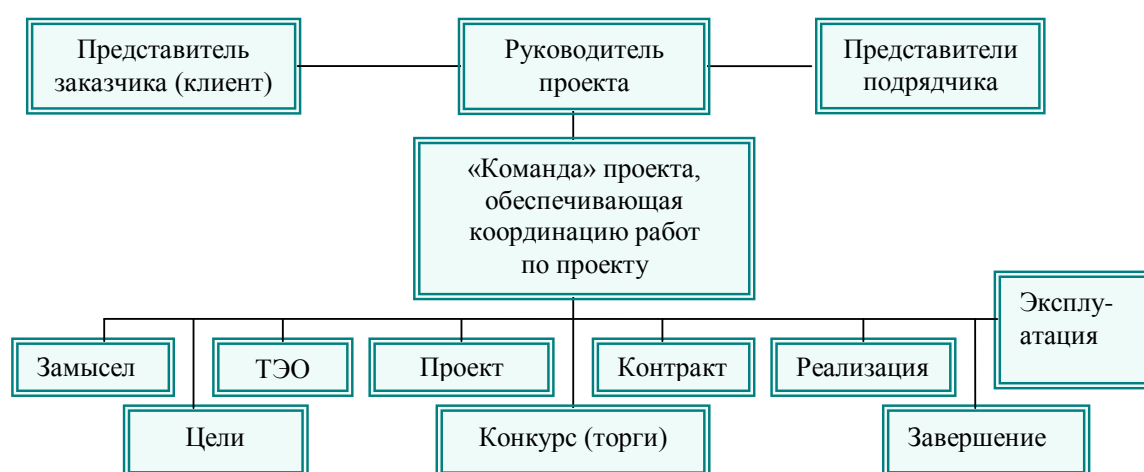


Рисунок 5.3 –Проектная структура проекта

5.3.4 Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности (Таблица 5.15).

Таблица 5.15 – Матрица ответственности проекта

Этапы проекта	Роль/должность	Роль/должность	Роль/должность	Роль/должность
Подготовительный	О	И	-	-
Основной	О	И	С	-
Завершающий	О	И	С	У

Степень участия в проекте характеризуется следующим образом:

Ответственный (О)– лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход.

Исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта.

Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение).

Согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

5.3.5 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта представлены в Таблице 5.16.

Таблица 5.16– Реестр рисков

Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
Изменение требований к продукту	Изменение и расширение методов исследования	2	4	Средний	Предварительное расширение функционала разработки, детальное исследование конкурентных решений	Изменение технологии производства
Низкое качество полученного продукта	Снижение перспектив выхода на рынок и коммерциализации продукта	3	5	Высокий	Контроль исполнения разработки на всех этапах, проведение проверок моделей, привлечение согласующих лиц	Слабо организованная работа, низкий уровень обучения исполнителей
Изменение условий рынка	Сложности выхода на рынок, замедление сроков коммерциализации	2	3	Средний	Расширение функционала разработки, подстройка под реалии рынка	Изменение ситуации на рынке
Прекращение финансирования проекта	Замедление сроков реализации проекта, технические сложности	2	3	Низкий	Переход на самостоятельное финансирование или поиск альтернативных источников	Изменение ситуации в организации

Продолжение таблицы 5.16

Изменения в структуре организации, от которой зависит проект	Сложности регистрации продукта, изменение условий патентования	2	3	Низкий	Координация с другими организациями, поиск спонсоров и партнёров	Изменение ситуации в организации
Ошибки планирования проекта	Снижение репутации на рынке, нарушение временных рамок исполнения работы	2	4	Средний	Тщательное изучение объемов работы, технических сложностей и анализ временных ресурсов	Слабо организованная работа, низкий уровень обучения исполнителей
Получение негативных оценок проекта	Снижение репутации на рынке и в научном сообществе	2	5	Высокий	Тщательная и скоординированная работа исполнителей, поддержание партнерских связей	Слабо организованная работа, низкий уровень обучения исполнителей

5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

5.4.1 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования был получен в ходе оценки бюджета затрат для трех вариантов исполнения научного исследования. Данные занесены в Таблицу.

Интегральный финансовый показатель разработки равен:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} = \frac{200000 \text{ p.}}{5000000 \text{ p.}} = 0,04 \quad (5.11)$$

Интегральный финансовый показатель первого аналога равен:

$$I_{\phi}^{A1} = \frac{\Phi_{A1}}{\Phi_{\max}} = \frac{4100000 \text{ p.}}{5000000 \text{ p.}} = 0,82 \quad (5.12)$$

где I_{ϕ}^p - интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – ориентировочная стоимость варианта исполнения текущей разработки;

Φ_{\max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в качестве максимальной стоимости взята стоимость существующей на рынке системы Honeywell OpenBPC в базовой комплектации; стоимость системы BOSS составляет ориентировочно 4100000 p.).

Интегральный показатель ресурсоэффективности аналогов проекта определяется следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (5.13)$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя приведен в Таблице 5.17.

Таблица 5.17 – Сравнительная оценка характеристик аналогов проекта

ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1 (BOSS)	Аналог 2 (OpenBPC)
Критерии				
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	5	5
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	5	5
3. Надежность	0,15	4	4	4
4. Качество интеллектуального интерфейса	0,20	4	3	3
5. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,25	3	5	4
6. Предполагаемый срок эксплуатации	0,15	5	4	3
ИТОГО	1	4	4,3	3,9

Разработка: $I_m^p = 5*0,1+4*0,15+4*0,15+4*0,2+3*0,25+5*0,15=4$;

Аналог 1 (BOSS): $I_m^{A1} = 5*0,1+5*0,15+4*0,15+3*0,2+5*0,25+4*0,15=4,3$;

Аналог 2 (OpenBPC): $I_m^{A2} = 5*0,1+5*0,15+4*0,15+3*0,2+4*0,25+3*0,15=3,9$

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{финр}^p$):

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{ф}^p} = \frac{4}{0,04} = 100 \quad (5.14)$$

Интегральный показатель эффективности аналога №1:

$$I_{финр}^{A1} = \frac{I_m^{A1}}{I_{\phi}^p} = \frac{4,3}{0,82} = 5,243 \quad (5.15)$$

Интегральный показатель эффективности аналога №2:

$$I_{финр}^{A2} = \frac{I_m^{A2}}{I_{\phi}^p} = \frac{3,9}{1} = 3,9 \quad (5.16)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^{A1}} = \frac{100}{5,243} = 19,073, \mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^{A2}} = \frac{100}{3,9} = 25,641 \quad (5.17)$$

где \mathcal{E}_{cp} – сравнительная эффективность проекта; $I_{мэ}^p$ – интегральный показатель разработки; $I_{мэ}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Таблица 5.18 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Текущий проект	Аналог 1 (BOSS)	Аналог 2 (OpenBPC)
Интегральный финансовый показатель разработки	0,04	0,82	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4	4,3	3,9
Интегральный показатель эффективности	100	5,243	3,9
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	-	19,073	25,641

Сравнение значений интегральных показателей эффективности (Таблица 5.18) позволяет сделать вывод, что текущая разработка вследствие своей низкой цены и широкого функционала является эффективной по сравнению с представленным на рынке программным обеспечением.

6 Социальная ответственность

Данный раздел дипломной работы посвящен исследованию оптимальных условий труда инженера. В качестве объекта исследования выступают рабочее место инженера – оператора и помещение, в котором оно находится.

Выполнение выпускной квалификационной работы проводилось в Инженерной школе природных ресурсов (ИШПР) Томского Политехнического Университета (ТПУ) в отделении химической инженерии. Выпускная квалификационная работа заключалась в разработке алгоритма смешения товарных бензинов. Область применения – нефтеперерабатывающая промышленность.

Основными средствами для выполнения выпускной квалификационной работы являлись персональный компьютер и локальная вычислительная сеть с выходом в Интернет.

6.1 Производственная безопасность

Промышленное производство бензинов на нефтеперерабатывающем предприятии осуществляется на автоматических станциях смешения бензинов (АССБ), которые являются важным технологическим узлом НПЗ. На АССБ происходит прием, приготовление, хранение, перекачка и отгрузка потребителям товарных продуктов с использованием трубопроводов, насосов и резервуаров, вспомогательной анализирующей и контролирующей аппаратуры. Наряду с другими установками на НПЗ, АССБ является взрывопожароопасной установкой, вследствие работы с легковоспламеняющимися жидкостями под высоким давлением.

Согласно отраслевым нормам, обслуживающий персонал должен быть обеспечен специальной одеждой, обувью, каской, средствами индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД), спец. питанием (молоком), моющими средствами.

Среди основных факторов, угрожающих здоровью персонала, на АССБ присутствуют следующие:

Таблица 6.1 – Характеристика факторов

ФАКТОРЫ	
<i>Вредные</i>	<i>Опасные</i>
1. Вредные вещества	1. Механические
2. Микроклимат	2. Электрические
3. Производственные шумы и вибрации	3. Горючесть
4. Освещение	
5. Психофизиологические производственные факторы	

6.1.1 Анализ факторов производственной среды

Наиболее вредные производственные факторы –повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны, повышенные уровни шума и вибрации на рабочем месте, недостаточная освещенность рабочих зон, взрывы, пожары и др.— могут возникнуть при обслуживании технологического процесса.

6.1.2 Вредные вещества

Специфика АССБ предполагает работу с вредными для здоровья персонала смесями углеводородов, входящих в состав бензина. Температура кипения бензина составляет от 30 до 200 °С, плотность – около 0,75 г/см³, теплотворная способность порядка 10500 ккал/кг.

В составе бензина может присутствовать более 200 индивидуальных углеводородов, входящих в такие технологические потоки, как бензины каталитического крекинга, бензины каталитического риформинга, МТБЭ (с примесями метанола), алкилаты, изомеризаты и другие.

Согласно [40] такие вещества, используемые в технологии производства бензинов, могут быть классифицированы как химически вредные; в Таблице 6.2 представлена информация об их химических свойствах и особенностях контакта с организмом человека. Наиболее токсичны при этом такие компоненты бензина, как толуол, бензол, МТБЭ,

метанол. По своей физико-химической природе при нормальных условиях данные вещества являются легколетучими жидкостями, что определяет их высокую опасность для персонала при вдыхании, контакте с кожей, слизистыми оболочками.

Для уменьшения влияния на данного фактора организм человека предусмотрены такие средства и мероприятия коллективной защиты, как вытяжные шкафы, и регулярное проветривание помещений. К индивидуальным защитным средствам относятся: специальная одежда, обувь, средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД), использование которых предотвращает вероятность вредного воздействия химических соединений на организм человека. Соблюдение предписанных требований безопасности и употребление спецпитания значительно снижает риск проявления токсичности данных веществ.

Таблица 6.2 – Характеристика токсичных свойств сырья, полупродуктов и готовой продукции производства

Наименование сырья, полупродуктов, продуктов и некоторых опасных веществ, входящих в состав бензина	Класс опасности	Агрегатное состояние при условиях производства	ПДК в воздухе рабочей зоны производственных помещений	Характеристика токсичности
Компоненты бензинов: - бензин каталитического крекинга; - бензин каталитического риформинга.	4	Жидкое	300/100 мг/м ³	Раздражает слизистую оболочку и кожу человека при острых отравлениях действует на центральную нервную систему, вызывает головокружение, потерю сознания.
Метанол	3	Жидкое	15/5 мг/м ³	Сильнодействующий яд, поражает центральную нервную, сердечно-сосудистую системы. Приём внутрь 5-10 гр. вызывает тяжелое отравление, слепоту
Бензол	2	Жидкое	15/5 мг/м ³	Пары бензола вызывают развитие лейкемии, анемии, нарушение функции костного мозга, головокружения, слабость, нарушения сна; оказывают негативное влияние на почки, печень, кости, кровеносную и нервную системы.
Толуол	2	Жидкое	150/50 мг/м ³	Толуол негативно действует на кроветворные органы, оказывает вредное влияние на кожу.
МТБЭ	4	Жидкое	300/100 мг/м ³	Действует угнетающе на ЦНС.
Алкилаты	4	Жидкое	300/100 мг/м ³	Пары оказывают наркотическое действие, вызывают головную боль, изменение скорости рефлекторных реакций.
Изомеризаты	4	Жидкое	300/100 мг/м ³	Пары оказывают наркотическое действие, вызывают головная боль, изменение скорости рефлекторных реакций.
Товарные бензины: - АИ-80 - АИ-92 - АИ-95 - АИ-98	4	Жидкое	300/100 мг/м ³	Пары оказывают наркотическое действие, раздражают верхние дыхательные пути и кожу

Показатели микроклимата на рабочем месте

Основными параметрами микроклимата является температура, относительная влажность и скорость воздуха. Микроклимат оказывает влияние на самочувствие человека, его трудоспособность и протекания физиологических процессов.

Для оценки метеоусловий в помещениях производят измерения температуры, влажности, запыленности, скорости движения воздуха. Результаты измерения сравнивают с нормативами ГОСТ 12.1.005-88.

Выполняемая работа относится к категории Ia, для которой определены оптимальные и допустимые границы основных параметров микроклимата по ГОСТ 12.1.005, которые приведены в таблице 2 [41].

Таблица 6.3 – Допустимые параметры микроклимата на рабочем месте

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	19-21 (23)	18-22 (24)	60 - 40 (15 – 75)	0,2 (0,3)
Тёплый	20-22 (27)	19-23 (28)		

Физиологически оптимальной является относительная влажность 40–60 %. Относительная влажность менее 25 % приводит к высыханию слизистых оболочек и снижению защитной деятельности мерцательного эпителия верхних дыхательных путей, что приводит к ослаблению организма и снижается работоспособность.

Рекомендуется устанавливать системы охлаждения воздуха для поддержания относительной влажности в оптимальных пределах. Для обеспечения требуемого микроклимата воздушной среды предложена искусственная вентиляция или кондиционирование.

6.1.4 Освещенность рабочего места

Освещённость на рабочем месте составляет 300...500 лк, для помещений, в которых эксплуатируются персональные компьютеры и

видеодисплейные терминалы; для работников вычислительных центров – 750 лк.

Естественная освещенность в дневное время суток в операторной составляет 1,5%, в насосной – 0,2%, поэтому установлены окна, которые обеспечивают необходимое освещение, и при этом устойчивые к вибрационному воздействию.

Таблица 6.3 – Нормы искусственной освещенности в помещениях АССБ

Источник света	Мощность источника света в помещении, лк.	
	Операторная	Насосная
Лампы дневного света	200	50
Лампы накаливания	150	20

Для осветительных установок общего освещения коэффициент запаса составляет 1,8 – 2,0. Коэффициент пульсации не превышает 5%.

Плохое и неравномерное освещение приводит к снижению зрительных функций, повышается уровень утомляемости, что отрицательно влияет на общую работоспособность персонала.

Для обеспечения нормируемых значений освещенности в рабочих помещениях проводится чистка стекол оконных рам и светильников два раза в год и своевременная замена перегоревших ламп. Необходимо ограничивать прямую блёскость от источников освещения, при этом яркость светящихся поверхностей в поле зрения не превышает 200 кд/м². Яркость бликов на экране видеодисплейных терминалов и персональных компьютеров не превышает 40 кд/м², а яркость потолка, при применении системы отраженного освещения, не превышает 200 кд/м², что соответствует параметрам ГОСТ Р 55710 – 2013 [42].

6.1.5 Повышенный уровень производственной вибрации и шума

Основными источниками вибрации являются насосы.

Допустимые нормы вибрации при работе в насосной составляют 60 - 75 дБ. Для ослабления колебаний применяют виброгасители и

виброизоляторы [43]. Следовательно, уровень шума соответствует ГОСТ 12.1.003 – 83.

Для снижения шума в помещениях проводятся следующие основные мероприятия [44]:

1. Уменьшение уровня шума в источнике его возникновения;
2. Звукопоглощение и звукоизоляция;
3. Установка глушителей шума;
4. Рациональное размещение оборудования.

Работникам рекомендуется использовать вкладыши для защиты органов слуха.

6.1.6 Психофизиологические производственные факторы

Согласно ГОСТ 12.0.003-74 психофизиологические опасные и вредные производственные факторы по характеру действия подразделяются на физические и нервно-психические перегрузки. Физические перегрузки подразделяются на статические и динамические, а нервно-психологические — на умственное перенапряжение, перенапряжение анализаторов, монотонность труда, эмоциональные перегрузки.

Поскольку основным каналом получения информации от ПК является монитор, то неизбежно увеличивается нагрузка на зрительную систему.

Ведущими компонентами трудового процесса при работе на компьютере служат однообразные многократно повторяющиеся нагрузки на верхние конечности и постоянное зрительное напряжение, особенно при необходимости моторно – зрительной координации, а также нервно – эмоциональное напряжение, стрессы, связанные с ответственностью за решение выполняемых задач.

Поэтому при работе за компьютером рекомендуется устраивать перерывы. Регламентируемые перерывы продолжительностью 20-30 минут, являющиеся составной частью режимов труда, устанавливаются через

каждые 1-2 часа после начала смены и через 2 часа после обеденного перерыва.

6.1.7 Механические опасности

На АССБ к механическим опасностям можно отнести:

- механизмы и подвижные части оборудования, неустойчивые конструкции (насосы и их части, трубопроводы и их отводы);
- режущие, колющие и падающие предметы (выступающие части оборудования);
- повышенный уровень шума, колебаний и вибраций (насосная);
- рабочее место на высоте (резервуарный парк).

Методы и средства защиты:

1. Обеспечение недоступности опасной зоны (заграждения, запрет доступа и входа).

2. Уменьшение опасности при помощи специальных приспособлений, к которым относятся:

- оградительные устройства (стационарные, съемные, переносные, частичные, могут быть сплошными и сетчатыми);
- предохранительные устройства ограничения (слабое звено), шпонки, мембраны;
- блокировочные (механические, электрические, оптические, радиационные и др.), которые соединены с пусковым механизмом.
- обеспечение безопасности при работе на высоте (страховочные крепежи, поручни, лестницы).

6.1.8 Электробезопасность

Электробезопасность установки должна обеспечиваться в любых возможных нормальных и аварийных эксплуатационных ситуациях. Источниками электрической опасности могут являться:

- оголенные части проводов или отсутствие изоляции;
- отсутствие заземления;
- замыкания;
- статическое напряжение.

Электробезопасность обслуживающего персонала и посторонних лиц должна обеспечиваться выполнением следующих мероприятий:

- Соблюдение соответствующих расстояний до токоведущих частей или путем закрытия;
- Ограждения токоведущих частей;
- Применение блокировки аппаратов и ограждающих устройств для предотвращения ошибочных операций и доступа к токоведущим частям;
- Применение предупреждающей сигнализации, надписей и плакатов;
- Применение устройств для снижения напряженности электрических и магнитных полей до допустимых значений;
- Использование средств защиты и приспособлений, в том числе для защиты от воздействия электрического и магнитного полей в электроустановках, в которых их напряженность превышает допустимые нормы.

Согласно [45], проведен контроль напряжений прикосновения и токов в местах, где может произойти замыкание электрической цепи через тело человека. Класс точности измерительных приборов не ниже 2,5.

Согласно правилам защиты от статического электричества в производствах химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности для предупреждения возможности возникновения опасных искровых разрядов с поверхности оборудования, перерабатываемых веществ, а также с тела человека необходимо предусматривать, с учетом особенностей

производства, следующие меры, обеспечивающие стекание возникающих зарядов статического электричества:

- отвод зарядов путем заземления оборудования и коммуникаций, а также обеспечения постоянного электрического контакта с заземлением тела человека;
- отвод зарядов путем уменьшения удельных объемных и поверхностных электрических сопротивлений;
- нейтрализация зарядов путем использования радиоизотопных, индукционных и других нейтрализаторов.

Для снижения интенсивности возникновения зарядов статического электричества:

- всюду, где это технологически возможно, горючие газы очищены от взвешенных жидких и твердых частиц; жидкости - от загрязнения нерастворимыми твердыми и жидкими примесями;
- всюду, где этого не требует технология производства, исключено разбрызгивание, дробление, распыление веществ;
- скорость движения материалов в аппаратах и магистралях не превышает значений, предусмотренных проектом.

Во взрывоопасных производствах, где могут накапливаться заряды статического электричества, технологическое и транспортное оборудование изготовлено из материалов, имеющих удельное объемное электрическое сопротивление не выше $10^5 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ [46].

6.1.9 Мероприятия по защите от опасных и вредных факторов

Обязательными условиями ведения процесса, исключающими возможность возникновения аварий и обеспечивающими нормальные санитарно – гигиенические условия труда являются:

- эксплуатация оборудования и аппаратов в соответствии с требованиями технологического регламента [51],
- работа только на исправном оборудовании (технологическом, электрооборудовании, контрольно-измерительных приборах),
- строгое соблюдение правил проведения всех видов ремонтных работ,
- обеспечение герметичности всех систем трубопроводов,
- контроль за содержанием взрывоопасных газов в воздухе рабочих помещений,
- исправность системы дистанционного и автоматического регулирования, сигнальных устройств,
- теплоизоляция всех аппаратов, процесс в которых проводится при повышенных температурах, а также трубопроводов горячих паров и жидкостей.

6.2 Экологическая безопасность

В рамках нефтеперерабатывающего завода, АССБ является объектом средней степени воздействия на окружающую среду. Далее будут описаны существующие угрозы для окружающей среды.

6.2.1 Воздействие АССБ на атмосферу

На атмосферу могут оказывать вредное воздействие выбросы из вентиляционных труб, которые не проходят очистку и выбросы из резервуаров, которые также не очищаются перед выбросом. Однако на установках осуществляется контроль по содержанию в выбросах углеводородов C_1 - C_5 , бензола, толуола и ксилола, которые не должны превышать установленных норм на предприятии [50].

6.2.2 Воздействие АССБ на гидросферу

Аварийные ситуации могут оказывать негативное воздействие на гидросферу. При разливе компонентов бензинов или товарной продукции происходит неконтролируемое скопление жидкой фазы на объекте. При попадании разливов нефтепродуктов в сточные воды необходимо провести их анализ на содержание вредных примесей, так как согласно [52] не допускается утечка нефти и нефтепродуктов.

Разлив засыпается песком, который затем вывозится на полигон. Не допускается проведение каких-либо огневых работ, эксплуатация насосного оборудования, техники вблизи мест разлива.

Разлитый метанол смывается большим количеством воды (в помещении) или засыпается песком, который затем вывозится на полигон.

Также на АССБ есть загрязненные дренажные воды, которые спускаются в промышленную канализацию, однако для экологической безопасности существует установленная норма содержания загрязнений в стоках – 1500 мг/л.

6.2.3 Воздействие АССБ на литосферу

На АССБ существуют отходы в виде шлам от очистки трубопроводов, емкостей от нефти и нефтепродуктов, которые могут отрицательно влиять на литосферу. Для их утилизации существует специальный контейнер, который вывозится автотранспортом на городской полигон для захоронения промышленных отходов.

В таблице приведены виды отходов и способы их утилизации по технологическому регламенту [51].

Таблица 6.4 – Виды отходов и способы их утилизации

Наименование отхода	Способ хранения отхода	Способ утилизации
Лампы ртутные, ртутно-кварцевые, люминесцентные, утратившие потребительские свойства*	В закрытой таре отдельно (тара завода – изготовителя)	Накопление осуществляется на месте образования на специально отведенном для этого складе. Далее отходы передают на на

		демеркуризацию (обезвреживание)
Спецодежда из натуральных, синтетических, искусственных и шерстяных волокон, загрязненная нефтепродуктами (содержание нефтепродуктов менее 15 %) *	В закрытой таре в смеси (контейнер V=0.1м3, 4 шт.)	По мере накопления вывозятся для захоронения на полигон ТБО
Мусор от офисных и бытовых помещений организаций несортированный (исключая крупногабаритный) *	В закрытой таре в смеси (контейнер V=0.7м3, 3 шт.)	Накопление осуществляется в металлических контейнерах. По мере накопления вывозятся для захоронения на полигон ТБО

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

6.3.1 Анализ возможных ЧС

Мероприятия, проводимые во время чрезвычайных ситуаций (аварий, стихийных бедствий, военных конфликтов), представляют собой проведение спасательных работ и неотложных аварийно-восстановительных работ в очаге поражения [47].

При возникновении аварийной ситуации технологический персонал должен немедленно сообщают об аварийной ситуации диспетчеру, начальнику установки и принимают соответствующие меры по ликвидации аварии, руководствуясь «Планом локализации аварийных ситуаций» (ПЛАС).

Во избежание отравления ядовитыми парами необходимо воспользоваться противогазами, которые находятся на видном месте рабочего помещения.

Для исключения возможности несчастных проводят проверку знаний работников, требований безопасности труда в соответствии с ГОСТ 12.0.004-90.

6.3.2 Пожаровзрывоопасность

Пожарная и взрывная безопасность – это система организационных мероприятий и технических средств, направленная на профилактику и ликвидацию пожаров и взрывов на производстве.

Возникновение пожара возможно при аварийной разгерметизации оборудования, либо неправильной организации проведения огневых работ, небрежных действий персонала.

Одним из главных требований предупреждения пожаров и несчастных случаев является недопущение скопления газов, паров, жидких продуктов. Для этого используется вентиляция мест возможного их скопления и уборка разлитых продуктов [49].

Для устранения возможности пожара, выделяют следующие мероприятия:

- проведение инструктажей по пожарной безопасности;
- по окончании работы производится отключение электрооборудования, освещения и электропитания;
- использование только исправного оборудования;
- курение в строго отведенном месте;
- назначение ответственного за пожарную безопасность помещения;
- содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

К первичным средствам пожаротушения относятся: огнетушители (порошковые, углекислотные и др.), ящики с песком, асбестовое полотно, вода. Они должны быть в исправном состоянии и окрашены в красный цвет. Эти средства позволяют своевременно ликвидировать очаг возгорания.

6.3.3 Защита в чрезвычайных ситуациях

Мероприятия, проводимые во время чрезвычайных ситуаций (аварий, стихийных бедствий, военных конфликтов), представляют собой проведение спасательных работ и неотложных аварийно-восстановительных работ в

очаге поражения. Данные мероприятия должны проводиться на основании положения комплекса государственных стандартов по предупреждению и ликвидации чрезвычайной ситуации и определены в [53].

Чрезвычайные ситуации могут сложиться в результате следующих нарушений: прекращение подачи сырья; прекращение подачи электроэнергии; нарушение герметичности соединений трубопроводов, аппаратов или их разрыв; неисправность средств контроля и автоматики.

При возникновении аварийной ситуации технологический персонал должен немедленно сообщить об аварийной ситуации диспетчеру, начальнику установки и принять соответствующие меры по ликвидации аварии, руководствуясь "Планом локализации аварийных ситуаций" (ПЛАС).

Для исключения возможности несчастных случаев должны проводиться обучение и проверка знаний работников, требований безопасности труда в соответствии с [54].

Разработан план эвакуации производственного помещения с указанием средств противопожарной защиты (Рисунок 6.1). По пожарной и взрывопожарной опасности производственное помещение имеет категорию «В» (пожароопасность).



Рисунок 6.1 – План эвакуации здания операторной АССБ с указанием средств противопожарной защиты

6.4 Правовые вопросы обеспечения безопасности

В соответствии с [55] каждый человек имеет право на труд в условиях, отвечающих требованиям безопасности и гигиены, и право на охрану здоровья. А в соответствии с п. 5 Генерального соглашения между общероссийскими объединениями профсоюзов, общероссийскими объединениями работодателей и Правительством Российской Федерации на 2014 - 2016 годы [56] обеспечение безопасности жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности является одним из национальных приоритетов в целях сохранения человеческого капитала и рассматриваются в неразрывной связи с решением задач по улучшению условий и охраны труда, промышленной и экологической безопасности.

Правильное расположение и компоновка рабочего места, обеспечение удобной позы и свободы трудовых движений, использование оборудования, отвечающего требованиям эргономики и инженерной психологии, обеспечивают наиболее эффективный трудовой процесс, уменьшают утомляемость и предотвращают опасность возникновения профессиональных заболеваний.

При организации производственного процесса следует учитывать антропометрические и психофизиологические особенности человека, его возможности в отношении величины усилий, темпа и ритма выполняемых операций, а также анатомо-физиологические различия между мужчинами и женщинами.

Заключение

В разделе экологической безопасности рассмотрено влияние процесса смешения бензинов на окружающую среду и персонал, а также принятие решений, направленных на их защиту, так как в последнее время становится

актуальными вопросы, касающиеся безопасности жизнедеятельности трудящихся.

В результате исследования выявлено, что рабочее место инженера – оператора полностью соответствует всем требованиям безопасности и гигиены

Список публикаций студента

№	Наименование работы, ее вид	Характер работы	Выходные данные	Объем, стр.	Соавторы
Научные работы всего: 4					
Статьи, опубликованные в изданиях, индексируемых международными базами данных Web of Science и Scopus:4					
1	«Correction of gasoline blending recipes with the use of computer modelling system »	Печатная	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2015 - Vol. 93, Article number 012014. - p. 1-7.	7	Kirgina M.V. Sakhnevich B.V. Chekantsev N.V. Ivanchina E.D.
2	«Complex modeling system for optimization of compounding process in gasoline pool to produce high-octane finished gasoline fuel»	Печатная	Chemical Engineering Journal. - 2015 - Vol. 282. - p. 1-12	12	Ivanchina E.D. Kirgina M.V. Chekantsev N.V. Sakhnevich B.V. Romanovsky R. V
3	«Calculation of gasoline octane numbers taking into account the reaction interaction of blend components»	Печатная	Procedia Chemistry. - 2014 - Vol. 10. - p. 477-484;	8	Maylin M.V. Kirgina M.V. Sakhnevich B.V. Ivanchina E.D.
4	«Optimization of High-Octane Gasoline Production»	Печатная	Advanced Materials Research. - 2014 - №. 880. - p. 121-127;	7	Kirgina M.V. Maylin M.V. Ivanchina E.D.
Доклады и тезисы докладов, опубликованные в материалах Международной (Всероссийской) конференции:13					
1.	«Исследование влияния присадок и добавок на октановое число бензина», доклад	Печатная	Труды XVII Международного научного симпозиума студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр», Томск, 2013 г., с. 144-146 (12063-2013)	3	Киргина М.В.
2.	«Исследование влияния присадок и добавок на октановое число бензина», доклад	Печатная	Сборник докладов IV Всероссийской конференции студентов Элитного технического образования «Ресурсоэффективным технологиям - энергию и энтузиазм молодых», Томск, 2013 г., с. 37-39 (1447512-2013)	3	Киргина М.В Иванчина Э.Д.
3.	«Исследования сырья процесса компаундирования с использованием компьютерной моделирующей системы», доклад	Печатная	Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Информационные технологии и математическое моделирование», Анжеро-Судженск, 2013 г., с. 149-152 (1447712-2013)	4	Киргина М.В
4.	«Исследование состава базовых компонентов товарных бензинов с использованием компьютерной моделирующей системы», доклад	Печатная	Материалы II Региональной студенческой научной конференции «Наука и молодежь в XXI веке», Омск, 2013 г., с. 31-34 (161402-2014)	5	Киргина М.В.
5.	«Optimal recipes of trade gasoline blending development by using computer model system «Compounding», доклад	Печатная	Материалы XV Международной научно-практической конференции имени профессора Л.П. Кулёва студентов и молодых ученых с	2	Kirgina M.V.

			международным участием «Химия и химическая технология в XXI веке», Томск, 2014 г., с. 248-249 (644606-2014)		
6.	«Применение компьютерной моделирующей системы «Compaunding» для разработки оптимальных рецептур смешения товарных бензинов», доклад	Печатная	Сборник научных трудов V Всероссийской конференции студентов Элитного технического образования «Ресурсоэффективным технологиям - энергию и энтузиазм молодых», Томск, 2014 г., с. 28-30 (621806-2014)	3	Киргина М.В
7.	«Разработка оптимальных рецептур смешения товарных бензинов с использованием компьютерной моделирующей системы», доклад	Печатная	Сборник материалов XIII Международной молодежной научно-технической конференции «Будущее технической науки», Нижний Новгород, 2014 г., с. 376 (621906-2014)	1	Киргина М.В
8.	«Применение компьютерной моделирующей системы «Compaunding» для исследования состава базовых компонентов товарных бензинов», доклад	Печатная	Сборник материалов VI Всероссийской 59-й научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «РОССИЯ МОЛОДАЯ», Кемерово, 2014 г. (930809-2014)	4	Киргина М.В
9.	Разработка оптимальных рецептур смешения товарных бензинов с использованием компьютерной моделирующей системы	Печатная	Будущее технической науки: сборник материалов XIII Международной молодежной научно-технической конференции, Нижний Новгород, 23 Мая 2014. - Нижний Новгород: Изд-во ННГУ, 2014 - С. 376	1	Киргина М.В.
10.	«Применение компьютерной моделирующей системы для исследования состава сырья процесса компаундирования», доклад	Печатная	Материалы VII Международной научно-практической конференции молодых ученых «Актуальные проблемы науки и техники», Уфа, 2014 г., с. 161-162 (285703-2015)	2	Киргина М.В
11.	«Корректировка рецептур смешения бензинов с использованием компьютерной моделирующей системы», доклад	Печатная	Материалы XVI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке», посвященной 115-летию со дня рождения профессора имени профессора Л.П. Кулёва, Томск, 2015 г., с. 83-84	2	Киргина М.В
12.	Корректировка рецептур смешения бензинов с использованием компьютерной моделирующей системы	Печатная	Математика и информационные технологии в приложениях: материалы международного студенческого симпозиума, Сочи, 17-21 Мая 2015. - Сочи: СГУ, 2015 - С. 110-112	3	—
13.	Improving the Resource Efficiency of Trade Gasoline Production by	Печатная	7th International Youth Scientific and Practical Congress Oil and Gas Horizons: Book of Abstracts,	1	Kirgina M.V.

	Correction of Blending Recipes		Moscow, November 24-26, 2015. - Москва: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2015 - р. 63		
14.	Оптимизация рецептур смешения бензинов с использованием компьютерной моделирующей системы», доклад	Печатная	Переработка углеводородного сырья. Комплексные решения (Левинтерские чтения): материалы Всероссийской научной конференции, Самара, 3-5 Ноября 2016. - Самара: СамГТУ, 2016 - С. 231-232 (133202-2017)	2	Киргина М.В.
15.	Исследование влияния рецептур смешения на свойства получаемого бензина	Печатная	Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XVIII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулёва, Томск, 29 Мая-1 Июня 2017. - Томск: Изд-во ТПУ, 2017 - С. 327-328	2	Киргина М.В.

Список литературы

1. Гуреев А.А., Азев В.С. Автомобильные бензины. Свойства и применение: Учебное пособие для вузов. – М.: Нефть и газ, 1996. – 444 с.
2. Ахметов С.А. и др. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа: Учебное пособие / С.А. Ахметов, Т.П. Сериков, И.Р. Кузеев, М.И. Баязитов; Под ред. С.А. Ахметова. – СПб.: Недра, 2006. – 868 с.
3. ГОСТ 32513-2013.Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия – М.: Стандартинформ, 2014. – 15 с.
4. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 013/2011 «О требованиях к автомобильному, авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту» [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.tehreg.ru/TP_TC/TP_TC.htm, свободный.
5. Горошко С.А., Фролова Н.В., Маликов И.В. Производство автомобильных бензинов с улучшенными экологическими характеристиками в России: проблемы и перспективы. – Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе, 2012. – №10. – С. 35-40.
6. Гучигов М.Ш. Современные технологии производства компонентов моторных топлив // Научное сообщество студентов: Междисциплинарные исследования: сб. Ст. По мат. III междунар. Студ. Науч.-практ. Конф. №3.
7. Данилов А.М. Применение присадок в топливах. – М.:Мир, 2005. – 288 с.
8. Данилов А.М. Присадки и добавки. – М.: Мир, 1996. – 304 с.
9. Моделирование процесса приготовления высокооктановых бензинов на основе углеводородного сырья в аппаратах циркуляционного типа [Электронный ресурс]: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук; спец. 05.17.08 /

- Ю.А. Смышляева; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); науч. рук. Э.Д. Иванчина. – Электронные текстовые данные – Томск, 2011.
10. Joly M, Pinto J.M. Mixed-integer programming techniques for the scheduling of fuel oil and asphalt production. *Chem Eng Res Des.* – 2003. – Vol. 81 (4). pp. 427-447.
 11. Mendez C.A., Grossmann I.E., Harjunkski I., Kabore P.A. Simultaneous optimization approach for off-line blending and scheduling of oil-refinery operations. *Comput Chem Eng.* – 2006. – Vol. 30 (4). pp. 614-634.
 12. Jia Z., Ierapetritou M. Mixed-integer linear programming model for gasoline blending and distribution scheduling. *Ind Eng Chem Res.* – 2003. – Vol. 42 (4). – pp. 825-835.
 13. Jia Z/, Ierapetritou M. Efficient short-term scheduling of refinery operations based on a continuous time formulation. *Comput Chem Eng.* – 2004. – Vol. 28 (6-7). – pp. 1001-1019.
 14. Glismann K., Gruhn G. Short-term scheduling and recipe optimization of blending processes. *Comput Chem Eng.* – 2001. – Vol. 25 (4-6). – pp. 627-634.
 15. Li J., Karimi I., Srinivasan R. Recipe determination and scheduling of gasoline blending operations. *AIChE J.* – 2010. – Vol. 56 (2). – pp. 441-465.
 16. Li J., Karimi I. Scheduling gasoline blending operations from recipe determination to shipping using unit slots. *Ind Eng Chem Res.* – 2011. – Vol. 50 (15). – pp. 9156-9174.
 17. Li J., Xiao X., Floudas C.A. Integrated gasoline blending and order delivery operations: Part I. Short-term scheduling and global optimization for single and multiperiod operations. *AIChE J.* – 2016. – Vol. 62 (6). – pp. 2043-2070.
 18. Castillo P.A.C., Mahalec V. Inventory pinch based, multiscale models for integrated planning and scheduling-Part II: Gasoline blend scheduling. *AIChE J.* – 2014. – Vol. 60 (7). – pp. 2475-2497.

- 19.Castillo PAC, Mahalec V. Inventory pinch gasoline blend scheduling algorithm combining discrete- and continuous-time models. *Comput Chem Eng.* – 2016. – Vol. 84. – pp. 611-626.
- 20.Castillo PAC, Mahalec V. Improved continuous-time model for gasoline blend scheduling. *Comput Chem Eng.* – 2016. – Vol. 84. – pp. 627-646.
- 21.Lotero I., Trespalacios F., Grossmann I.E., Papageorgiou D.J., Cheon M.S. An MILPMINLP decomposition method for the global optimization of a source based model of the multiperiod blending problem. *Comput Chem Eng.* – 2016. – Vol. 87. – pp. 13-35.
- 22.Cerda J., Pautasso P.C., Cafaro D.C. Optimizing gasoline recipes and blending operations using nonlinear blend models. *Ind Eng Chem Res.* – 2016. – Vol. 55 (28). – pp. 7782-7800.
- 23.Tawarmalani M., Sahinidis N.V. A polyhedral branch-and-cut approach to global optimization. *Math Program.* – 2005. – Vol. 103 (2). – pp. 225-249.
- 24.Pedro A. Castillo Castillo, Pedro M. Castro, Vladimir Mahalec. Global Optimization of Nonlinear Blend-Scheduling Problems. *Engineering.* – 2017. – Vol. 3. – pp. 188-201.
- 25.Yu Li, Tong Qiu. Logarithm-transform piecewise linearization method for the optimization of gasoline blending processes. *Cjche.* – 2018. – available online 3 February 2018; in press, corrected Proof.
- 26.А.А. Аносов, Г.Л. Ефитов, Д.Г. Пузин. Автоматизированная система оптимального управления станцией смешения бензина на НПЗ // *Автоматизация в промышленности*, 2010. – №3. – с. 51-59.
- 27.A.A. Anosov, G.L. Efitova, S.D. Zusman. On-line Gasoline Blending Optimization with In-Flow Blend Quality Analysis. *Automation in industry. Automation and Remote Control.* – 2017. – Vol. 78 (3). – pp. 515-524.
- 28.T.A. Albahri, M.R. Riazi, A.A. Alqattan. Octane number and aniline point o petroleum fuels. *Fuel Chemistry Division Preprints.* – 2002. – Vol. 47 (2). – pp. 710-711.

- 29.T.A. Albahri. Structural group contribution method for predicting the octane number of pure hydrocarbon liquids. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. – 2003. – Vol. 42 (3). – pp. 657-662.
- 30.C.H. Twu, J.E. Coon. Predict octane numbers using a generalized interaction method. *Hydrocarbon Processing*. – 1996. – Vol. 75 (2). – pp. 51-56.
- 31.P. Ghosh, K.J. Hickey, S.B. Jaffe. Development of a detailed gasoline composition-based octane model. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. – 2006. – Vol. 45 (1). – pp. 337-345.
- 32.M.V. Kirgina, E.D. Ivanchina, I.M. Dolganov, N.V. Chekantsev, A.V. Kravtsov, F. Fu. Computer Program for Optimizing Compounding of High-Octane Gasoline. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. – 2014. – Vol. 1. – pp. 12-18.
- 33.M.V. Kirgina, M.V. Maylin, E.D. Ivanchina, E.V. Sviridova, Optimization of High-Octane Gasoline Production. *Advanced Materials Research*. – 2014. – Vol. 880. – pp. 121-127.
- 34.Kirgina M., Gyngazova M., Ivanchina E. Mathematical modeling of high-octane gasoline blending, *Proc. 7th International Forum on Strategic Technology IFOST-2011, Tomsk, September 18-21, Tomsk: TPU Press, 2012. – Vol. 1. – pp. 30-33.*
- 35.Моделирование процесса компаундирования высокооктановых бензинов: Методические указания к выполнению лабораторных работ для слушателей программы повышения квалификации «Процессы глубокой переработки углеводородного сырья» / сост. М.В. Киргина. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 25 с.
- 36.Кравцов А.В., Иванчина Э.Д. Компьютерное прогнозирование и оптимизация производства бензинов. *Физико-химические и технологические основы*. – Томск: STT, 2000. – 192 с.
- 37.Киргина М.В., Иванчина Э.Д., Долганов И.М., Смышляева Ю.А., Кравцов А.В., Фан Фу. Моделирование процесса приготовления товарных бензинов на основе учета реакционного взаимодействия

- углеводородов сырья с высокооктановыми добавками // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2012. – № 4. – С. 3-8.
- 38.ОАО «Сызранский нефтеперерабатывающий завод» [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Сызранский_нефтеперерабатывающий_завод, свободный.
- 39.Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск:Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
- 40.ГОСТ 12.1.0076. «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности».
- 41.ГОСТ 12.1.005 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
- 42.СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий. М.: Минздрав России, 2003.
- 43.СН 2.2.4/2.1.8.566. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. М.: Минздрав России, 1997.
- 44.ГОСТ 12.1.003-83. Шум. Общие требования безопасности.
- 45.ГОСТ 12.1.019 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
- 46.ПОТ РМ-016-2001. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок.
- 47.ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения. – введ. 01.01.1995. – М.: Издательство стандартов, 1994. – 11 с.
- 48.ГОСТ 12.0.004-90. Организация обучения безопасности труда [Текст]. – введ. 01.07.1991. – М.: Стандартиформ, 2010. – 16 с.

- 49.ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения. – введ. 01.01.1995. – М.: Издательство стандартов, 1994. – 11 с.
- 50.ГН 2.1.6.1338-03. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.
- 51.Технологический регламент реакционно – ректификационного синтеза этил – трет – бутилового эфира.
- 52.ГОСТ 17.1.3.13-86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.
- 53.ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения. – введ. 01.01.1995. – М.: Издательство стандартов, 1994. – 11 с.
- 54.ГОСТ 12.0.004-90. Организация обучения безопасности труда [Текст]. – введ. 01.07.1991. – М.: Стандартиформ, 2010. – 16 с.
- 55.Конституция Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа www. URL: <http://www.consultant.ru/popular/cons>.
- 56.Генеральное соглашение между общероссийскими объединениями профсоюзов, общероссийскими объединениями работодателей и Правительством Российской Федерации на 2014 – 2016 годы от 25 декабря 2013 г. [Электронный ресурс]: – Режим доступа www.URL: <http://www.rg.ru/2013/12/30/a904631-dok.html>.

Приложение А

Раздел 3

Process optimization of gasoline production

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2KM61	Свиридова Елизавета Витальевна		

Консультант отделения химической инженерии:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Киргина М.В.	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Сыскина А.А.	к.ф.н.		

Automobile fuels, primarily, gasoline and diesel fuel are the most significant part of petroleum products which play crucial role in economics of the Russian Federation.

On a modern refinery, the most part of crude oil is being refined into motor fuels, primarily in gasoline. This makes gasoline blending an important process for petroleum industry with the main goal to mix products of refinery processes in specific proportions and obtain a final blend that meets all quality requirements [1, 2].

A number of requirements are laid down to modern gasoline; compliance with the requirements of gasoline depends primarily on physical and chemical properties of gasoline, which should ensure reliable and economic operation of the engine, as well as meet all operational requirements and environmental standards.

Gasoline is an oil refining product, which is a combustible and flammable mixture of light hydrocarbons and additives. The composition of gasoline varies widely, depending on the oil used and the existing processes, installations in the refinery, and may include more than 200 individual components.

Modern gasoline has a number of requirements to ensure the economical and reliable operation of the engine, and a number of requirements for vehicle operation: group hydrocarbons composition; the combustion process without detonation at all engine operating conditions; a good evaporation, allowing to obtain a homogeneous air-fuel mixture of optimal composition at any temperatures; the constancy of composition and properties of gasoline during storage and minimal detrimental effect on fuel system parts, tanks, rubber products etc.

The main type of automobile engine is an internal combustion engine.

For trade gasoline, which is used as motor fuels, the following characteristics are important:

- octane number (detonation resistance);
- fractional composition;

- saturated vapor pressure (SVP);
- chemical stability;
- the presence of foreign elements and compounds that worsen the parameters of gasoline and pollute the environment;
- evaporation;

The development of gasoline production is primarily associated with the desire to improve the main operational property of the fuel – the detonation resistance, the numerical equivalent of which is the *octane number* (ON) of gasoline (RON –research octane number and MON- motor octane number) [1,2].

Today one of the documents that legally establish technical requirements for unleaded gasoline of a new generation, is GOST 32513-2013, which was introduced as a national standard of the Russian Federation from January 1, 2015 [3].

According to this document, the production of gasoline in Russia is carried out by the following brands:

- Gasoline AI-80;
- Gasoline AI-92;
- Gasoline AI-95;
- Gasoline AI-98;

One of the most important properties of gasoline is the *evaporation*-it characterizes the ability to create a mixture of gasoline vapors with air, which can be ignited by an electric spark under any climatic conditions and under all engine operating conditions. The evaporability of gasoline is characterized by such indicators as fractional composition and saturated vapor pressure (SVP) [4].

Fractional composition and SVP affect the starting properties of gasoline, their tendency to form steam jams, physical stability, the speed of heating the car, fuel consumption and other indicators.

Chemical stability - is a value that characterizes the ability of gasoline to resist chemical changes in its properties and composition during long-term storage, pumping, transportation or heating of the engine intake system. The chemical

stability of gasoline is associated with the presence of unsaturated hydrocarbons in its composition, which is characterized by an increased tendency to oxidation in the conditions of transportation or storage of fuel.

Non-hydrocarbon impurities contained in gasoline also affect their chemical stability. The worst chemical stability is found in olefin and diolefin hydrocarbons, and the best in branched hydrocarbons (iso – alkanes).

The corrosion activity of gasoline is caused by the presence of non-carbon impurities in gasoline, primarily sulfur and oxygen compounds and water-soluble acids and alkalis. The qualitative determination is evaluated by the total sulfur content, acidity, mercaptan sulfur content, copper plate test and water-soluble acids and alkalis [2].

All of the above properties of gasoline are controlled and strictly regulated. In addition to the normative document GOST 32513-2013 "Motor fuels. Unleaded gasoline. Technical conditions" for the regulation of environmental requirements in February 2008, the Government of the Russian Federation approved The technical regulation of the Customs Union TR CU 013/2011 "On the requirements for automobile, aviation gasoline, diesel and marine fuel, jet fuel and fuel oil." [4].

According to the technical regulations, the gasoline which is produced at the plant must meet all the environmental requirements presented in the document: the content of sulfur, aromatic substances, benzene, olefins, etc.

Every year the environmental requirements for fuel are becoming stricter, so for example, today all gasoline producers must produce motor fuel not lower than class 5. Thus, the process of gasoline production is becoming more and more difficult for the manufacturer every year. The main difficulty of the problem of production of high-octane gasoline is in contrast to the properties of gasoline.

Thus, aromatic compounds and olefins have high research octane numbers, but their content is strictly limited by environmental requirements. Another way to increase octane number of gasoline is to add an anti-knock additive or additives-oxygenates, which content in gasoline is also strictly regulated.

Today, environmental requirements for fuels are becoming crucial due to the negative effects associated with the toxicity of compounds in the air, water, soil directly from the fuel (evaporation, leakage) or its combustion products [5].

This multi-staged gasoline production process is one of the most sophisticated technologies from the standpoint of economic efficiency. The key point lies in complexity of feedstock mixtures which consist of large quantities of individual hydrocarbons, in conditions of ever-changing feedstock composition. In addition, detonation resistance does not follow the law of additivity (octane number is a non-linear characteristic), so this makes it more difficult to optimize the process. Considering all the above mentioned factors, it appears to be impossible to formulate a universal blending recipe; existent recipes need to be revised in real time to correspond the changing conditions of blending.

Depending on the existing technological situation and compounding schemes, different ways of solving this problem are used at each Russian refinery to increase the production of high-octane gasoline and improve its operational and environmental properties:

1. Increase the number of basic components of gasoline, i.e. high – octane and high – quality raw streams-catalytic reforming gasoline, catalytic cracking, isomerization, alkylation.

Next, the main processes of oil recycling and their flows involved in the production of gasoline will be considered.

Table 1.1 – Component composition of gasoline in Russia, USA, Europe

Indicators in	Russia	USA	Europe
Total amount of petrol fund, million tons per year	24	330	130
Component composition, % vol.			
Butans	5.7	7	5
Reformats	54.1	34	48.2

Catalytic cracking	20	35.5	27
Isomerizate	1.5	5	5
Alkylate	0.3	11.2	5
Oxygenates	0.2	3.6	2
The distillation fraction of the hydrocracking	13.3	3.1	7.3
Fraction of thermal processes	4.9	0.6	0.5

Catalytic reforming gasoline, as seen from the table. 1.1, is the main component in the production of gasoline in Russia and is present in the technological scheme of any refinery. It has high detonation characteristics of the flow-the RON vary from 100 to 105, the MON do from 90-95. Such high octane numbers of catalytic reforming gasoline are due to the increased content of aromatic hydrocarbons (60-70%) and benzene in them, which limits their content in gasoline. Also, the disadvantage of the reformats is the high sensitivity between the octane numbers – 1-12 points.

The second most common component of commercial gasoline is catalytic cracking gasoline. Octane numbers range from 83 to 90 by research method, MON do from 75 to 81.

In recent years, the process of isomerization (isomerizate flow) has become one of the most profitable ways to obtain high-octane and high-quality gasoline components. The isomerizate flow has high octane numbers (OCHI = 90-94) and a minimum difference between the research and motor octane numbers (2-3 points) and does not contain aromatic compounds.

Along with the isomerized product, the excellent component is the high-octane alkylate flow. Alkylate has a high octane number (RON – from 98 points), as well as the reformat, but it consists mainly of isoparaffinic hydrocarbons and does not contain aromatic compounds. However, alkylation plants are one of the most expensive and complex components in the production of commercial gasoline, so now the amount of alkylate flow in commercial gasoline in Russia is less than 1 % [5,6].

2. To increase the octane number of commercial gasoline is often necessary to use anti-knock additives and additives-oxygenes.

The most popular of them is received methyl t-butyl ether (MTBE), a mixture of tert-butyl alcohol (feterol) and methyl-dreamily ether (MTAE). The maximum permissible concentration of MTAE in gasoline is 15% due to its relatively low combustion heat, high aggressiveness towards tires and environmental hazard of exhaust gases. The main disadvantages of the process of production of MTBE are high cost of the product and the limited resources of the raw material of isobutene [7,8].

3. One of the main factors in the mixing of gasoline is the calculation of the formula of mixing gasoline, which allow avoiding overspending of expensive and high-octane raw materials and the production of substandard batches of gasoline with poor properties. The inability to create a universal recipe for mixing, as well as the ever – changing composition of raw materials, as well as the lack of effective automated operational control systems that will allow you to quickly change the recipe for mixing in the preparation of commercial gasoline - all these factors complicate the process of preparing gasoline at the plant.

Today, there are three main methods of mixing for the preparation of commercial gasoline in the plant [9]:

- circulation-preparation is carried out in the mixing tanks;
- the mixing apparatus with the mixing devices;
- direct mixing in pipelines.

Widespread circulation of typical mixers, the schematic diagram of which is shown in Fig. 1.

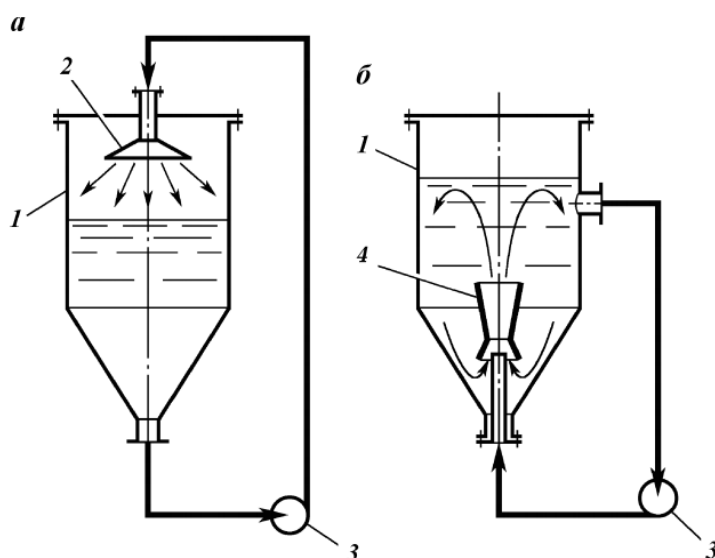


Figure 1. Circulation of mixer circuits

a) a mixer with a circulation pump; b) a mixer with a circulation pump and an ejector; 1 – capacity; 2 – a sprinkler; 3 – a circulation pump; 4 – an ejector.

The method of preparation of commercial products by multiple circulation through mixing tanks in general is:

- components of end products from process units arrive in the component tank parks of confusion, here is the analysis of the quality of these threads;
- the formulation of gasoline blending is defined, the consumption of each involved in mixed flows, and then the desired amount of material from reservoir park of the mixing is pumped to the mixing tank;
- prepared in a mixing tank product is extracted with a special pump and pumped repeatedly on a "tank-pump-tank" as long as homogeneous mixture is obtained in the tank. This mixture is analyzed for quality and compliance with the requirements for the finished product.

Optimization of trade gasoline blending process is an urgent industrial-oriented research direction in terms of the modern trends of annual increase in demand of high-octane gasoline. There is a large number of research works of domestic and foreign scientists dedicated to the study of aspects of this problem.

The scheduling of gasoline-blending operations is an important problem in the oil refining industry. This problem not only exhibits the combinatorial nature that is intrinsic to scheduling problems, but also non-convex nonlinear behavior, due to the blending of various materials with different quality properties.

Computing and implementing an optimal production schedule can reduce operational costs, increase profit margins, and avoid deviations from environmental constraints. However, complex industrial plants can have multiple production, storage, and distribution subsystems, several distinct raw materials and intermediate and final products, and intricate connections between all these elements that make scheduling a difficult decision-making process.

Scheduling models can be divided into two main categories based on the treatment of the time domain: discrete- and continuous time formulations. In discrete-time models, the time horizon is divided into several time periods of the known duration with fixed start and end time. In continuous-time models, the time horizon is partitioned into time slots duration of which will be determined by the optimization. While continuous-time models generate problems with fewer discrete variables than their discrete counterparts, they are more complex to formulate and often feature many “big-M” constraints that, due to their weak relaxations [10], compromise computational performance. More in-depth reviews of scheduling formulations can be found in Refs.

Gasoline blending has been studied by many researchers due to its commercial importance and non-convex features, which makes it a suitable subject for testing different formulations and algorithmic approaches. Operational constraints found in gasoline blending are related to the presence of multipurpose tanks and non-identical blenders, to different storage-tank policies (e.g., whether the simultaneous receipt and delivery of material are allowed or not), and to practical aspects such as minimum blend sizes and minimum blender running and setup times. Not all of these constraints are considered in the published scheduling models. In some cases, blend recipes are assumed to be fixed (i.e., they cannot be

optimized). The downstream distribution or shipping problem (i.e., timing delivery tasks to fulfill the demand) are sometimes also part of the blend-scheduling problem.

Mathematical models for planning optimization are usually formulated as mixed integer linear programming (MILP) problems. However, for gasoline characteristics in mixing, nonlinear behavior is inherent, and for accuracy it is necessary to use mixed integer nonlinear programming (MINLP). Thus, linear optimization methods are inefficient for describing this problem. Thus, a global approach to optimization is needed.

Authors of research [11] presented both a discrete- and continuous-time MILP model to schedule gasoline-blending operations. An iterative method was employed to handle nonlinear blending rules while preserving the linearity of the models. Several key operational constraints were omitted and the distribution problem was not considered.

Authors of research [11] developed a continuous-time MILP model to simultaneously schedule gasoline-blending tasks and distribution operations. The linearity of the model was maintained by using the given preferred recipes. Their model was later extended to schedule operations of the main processing units in an oil refinery [12].

Authors of research [13] used a two-level approach based on discrete-time models. Blend recipes and production targets were computed first using a nonlinear programming (NLP) model. Then a MILP model was employed to solve the short-term scheduling problem using such recipes and targets. The scheduling model was based on the resource-task-network (RTN) representation and did not consider multipurpose tanks or the delivery-scheduling problem.

Authors of research [14] formulated a continuous-time MILP model featuring a common time grid for all units (i.e., blenders and tanks). Authors of research [15] extended and improved this MILP model by using unit specific time grids and including most of the operational constraints found in practice. Both models optimized blend recipes using blend indices. Based on these two previous

works [14, 15], Authors of work [16] presented a unit-specific continuous-time MINLP formulation where nonlinear terms arise from enforcing constant blending rates.

Authors of work [17] developed a three-level decomposition algorithm through which recipe optimization can be done using linear and/or nonlinear blending rules. They considered the distribution problem, blend-size threshold constraints, parallel non-identical blenders, swing tanks, and product-dependent setup times. A discrete-time model was formulated for each level. The first level optimized the blend recipes, the second level approximated the production schedule, and the third level computed a detailed blend-and-delivery schedule. Due to the large size of the scheduling model at the third level for the entire horizon, it was solved in subintervals. The solutions computed by this approach were better and the execution times for large problems were two orders of magnitude shorter than those from the previous methods [15,14].

In their subsequent work, authors of work [18] introduced a significantly modified version of the continuous-time scheduling model from authors of work [15] (with a smaller number of binary variables [19]) for dealing with the third level. Case studies with nonlinear blend-scheduling problems were solved very close to global optimality with short execution times.

Authors of work [21] presented a continuous-time MILP formulation that uses floating slots dynamically allocated to time periods while solving the problem. The model included most of the operational constraints found in practice. Authors [22] then extended the model to handle nonlinear blending rules, thus formulating a continuous-time MINLP model. An approximate MILP formulation was derived by replacing the nonlinear blending rules with linear blend indices. The values of the binary variables computed by this MILP were fixed in the original MINLP, thus becoming an NLP that was solved to find a near-optimal solution of the original problem.

In the latest published work on this subject authors of work [23] offers a global algorithm of optimization for the solution of earlier published model of the

nonlinear mixed integer planning in a continuous operating mode at gasoline mixture. The model includes optimization of a mixture, a problem of distribution and several important operational functions and restrictions. The algorithm uses piecewise relaxation of McCormick (PMCR) and the normalized multiparametric disaggregation technique (NMDT) for calculation of estimates of a global optimum. These methods break area of one of variables on the bilinear member and generate convex easing for each splitting. Due to an increase in number of splittings and reduction of area of variables the algorithm is capable to specify estimates of the global decision. The algorithm is compared with two commercial complex systems and two heuristic methods, solving four examples from the literature. The results show that the offered algorithm of global optimization works on an equal basis with commercial systems, but not as quickly as heuristic approaches.

In the work of the scientists authors of work [24] the improved method of piecewise linearization (LTPL) of logarithmic transformation is offered. At application of piecewise and linear approach to transformation of not convex programs often it is about the big scale of the size of a task and computing time, especially for a problem of production of gasolines at oil refineries. The usual methods of piecewise linearization focus on one-dimensional expressions or linear combinations from them. The LTPL method is directed to transformation of difficult multiple parameter expressions with several variables in expressions from one variable by performance of a number of transformations of logarithms, and then the method reforms new problems of programming of MILP by piecewise linearization on the basis of the big-M method. According to the above discussion, the quantity of variables can be reduced by the LTPL method, and then the scale of models can be operated. This method has been successfully applied to process the mixture of gasoline at oil refinery. This method is capable to find approximate global optimal solutions in short terms. In conclusion, the LTPL method is capable of reducing the amount of linearization of the tasks containing the mixed

multilevel restrictions and to transform difficult expressions of NLP to MILP that will bring in a faster solution of a problem of gasoline production.

The process of production of gasoline for optimization is one of the most difficult industrial technologies: a large number of raw streams, therefore, a set of individual components in the conditions of the changing structure of raw streams are involved. Besides detonation properties of trade gasoline don't subject to the law of additivity that makes essentially difficult for process optimization. All these factors prevent development of the uniform, universal recipes for production of gasoline brand; the existing recipes need continuous adjustment depending on a big number of factors [25].

The solution of similar multicriteria and multiple-factor problems of optimization demands use of highly specialized algorithms and can be most effectively executed with use of a method of mathematical modeling and use of the computer modeling system on a physical and chemical basis.

The problem of optimization is very critical for all producers of gasoline at oil refineries. As a result of long-term researches, with use of chemical, mathematical and program approaches, various algorithms and the modeling algorithms on their basis for mixture process planning have been presented. In a number of works the algorithm of linear programming which is most widely used at the enterprises of oil processing and also methods on improvement of this algorithm according to the current state of production are described.

One of the most common linear programming (LP) systems is the Aspen PIMS system, which is designed for economic planning of mixing processes in processing industries. Aspen PIMS is used to optimize the operation and design of refineries, petrochemical and chemical plants and other process industries. It can be used for a wide variety of short -, medium-and strategic planning tasks, including:

- raw material selection;
- optimization of product mixing;
- production planning;

- complex optimization;
- investment planning.

Also, the company has an improved development of "Aspen-PIMS-AO" - a volumetric planning system with nonlinear modeling and optimization capabilities, while "Aspen PIMS" is a tool for linear modeling and optimization.

One of the most effective developments in this area is the integrated mixing management system of Honeywell. The company has developed a system of three-level control system (offline optimization (initial optimal recipe); online optimization (optimization of the current recipe); DCS (automatic mixing process)). The complex system includes the following elements: communication with flowmeters, on-line stream flow quality analyzers, product tanks and is equipped with algorithms for predictive quality control, data libraries and reports on mixing. A three-layer system manages all production cycles of mixing from the beginning to the end, while hardware malfunctions and failures of the implementation process are controlled, to ensure conformity of the obtained mixtures of the requirements for marketable products.

The BLEND system is used to calculate the optimal recipes, batch volume calculation, selection of component and product tanks.

The problem of finding the optimal recipe is a multi-dimensional nonlinear optimization problem and the offline module must have a powerful problem solver of sequential linear and integer programming.

The main initial data for the system are:

- the quality, number and cost of the available components of inventory at the component and product tanks;
- requirements for commercial gasoline (specification, composition, target recipe);
- penalties for violation of restrictions.

The module should include the various known non-linear model of the mixing of octane numbers, the indexes for the nonlinear mixing of the saturated

vapor pressure and most versatile camera of the nonlinear mixing – bonuses mixing

Further, after offline planning, it is necessary to mix the flows correctly, for this purpose a distribution control system (DCS) was developed. The system performs:

1. Calculation of job costs for regulators components based on the recipe of the mixture;
2. Flow tasks entering for each component regulator;
3. Each pump starting;
4. Tracking is the process of mixing and modifying jobs for the regulators as needed;
5. Each pump stop;
6. The regulators closing;

However, the basic system is not enough for effective control: there is no automatic execution of the batch mixing algorithm and if there are deviations from the initial recipe, the system cannot respond quickly to changes. To do this, an add-in for the system-Profit Blend Controller was created.

The next step is the online optimizer of the mixture quality-Open Blend Property Control (OBPC) - a control system that analyzes the properties (characteristics) of gasoline, optimizes the current composition of the mixture and maintains the quality of the mixture in real time.

The main functionality of the system is the following:

- in-flow analyzer data validation;
- in-flow analyzer dynamics consideration and compensation;
- blending model compensation (i.e., the calculation of the deviation between the measured and model-based gasoline properties);
- data acquisition on components quality;
- current state monitoring for gasoline blendings;
- on-line blending data acquisition for optimal control actions design;

—optimal control actions transfer back to the blending control system as the corrected composition of the components. (The calculated composition of the components is returned in the form of the volume percent or flow rates.)

The blend composition optimizer carries out the following tasks:

—calculates the limits for each component in the composition and also for each flow-rate controller using the data from the blending control system and the system configuration;

—involves the calculated limits for the components and flow-rate controllers to optimize the gasoline blend;

—calculates the new blend composition (based on the volume percent or flow rates), as well as predicts the Gasoline properties for the blender and their average values.

The system acquires the quality data on the industrial process from several sources, namely, the analyzer, the laboratory measurements, the composition database, the manual input, and the model estimation.

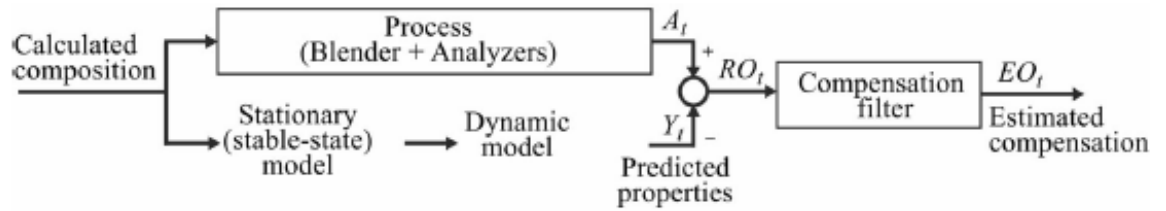


Figure 1. The blending model compensation using the in-flow analyzer measurements, where RO_t means the raw compensation defined by $RO_t = A_t - Y_t$ and EO_t is the filtered (estimated) compensation.

The blending model compensation (see Fig. 1) is calculated by

$$EO_t = \alpha EO_{t-1} + (1 - \alpha) RO_t, \quad (1)$$

where $\alpha = e^{-T/\tau}$, α denotes the compensation filter, T gives the sampling time, and τ is the filtering time in the compensation procedure.

At each cycle of the in-flow analysis the corrected estimate serves for the systematic correction of the blending model, i.e.,

$$PEt = yt + EOt. \quad (2)$$

During the blending configuration, OBPC defines the required objective functions to control the blend properties. The objective functions are used by the system in the blending optimization.

In the case of two or more objective functions, the system performs blending optimization in several successive steps each involving a corresponding objective function. Each successive step retains the optimum achieved at the previous step and adopts the remaining degrees of freedom to optimize the next objective function.

The on-line control system requires analysis of the quality of the mixture in the flow. In this context, we note that reliable measurements of analyzers in the flow are impossible without periodic inspection and correction of the initial calibration model of these analyzers.

Online blending optimization systems for commercial gasoline have been implemented at many of the country's refineries. As a rule, oil refineries use traditional schemes of mixing gasoline with special tanks for components and batch flows (periodic operation of the mixing system). However, some refineries do not have composite tanks (i.e. components are supplied to mixers directly from the plants) and the industrial process is continuous. The absence of such tank components significantly complicates management, as incoming flows must be fully involved in the mixing process.

In addition, at the refinery a few products are simultaneously prepared that require a special tank for so-called "unqualified products" (the excess volumes for the mixture). When the tank is filled, the unconditional products are then used as components.

The economic effect of the introduction of online mixing control systems is often less than that of offline optimization. Offline optimization takes more factors into account, the mixing model considers more aspects, and the optimization process includes a much larger number of variables. The problem of automatic optimization is solved by sequential linear and integer programming, which gives a

global quasi-optimal solution. On the other hand, online optimization focuses on the "narrower" problem with fewer variables, uses a nonlinear solver and second order methods, and gives a local optimum. Therefore, the main mixing factors are the existing feedback from the flow analyzer, as well as the data averaging and smoothing algorithms used in online optimization. This reduces the inevitable measurement errors of gasoline consumption and properties. In addition, the problem is solved online with a period of several minutes (more than once, as in the case of offline optimization).

Therefore, if online systems of mixing optimization are autonomously, the economic effect is slightly less than in offline optimization. The joint use of both systems (two-level optimization) can significantly improve the autonomous optimum by further online optimization, which gives a specific economic effect by preserving the most expensive (high-octane) components [26].

Thus, when the system of optimization of gasoline mixing is analyzed, it can be concluded that the advantages of the most existing programs include:

- extensive databases with tens of thousands of components;
- ability to model a wide range of processes;
- developed graphical interface that allows you to easily create and change the topology of technological schemes;

However, such programs have a number of disadvantages:

- these systems require large acquisition and support costs (tens to hundreds of thousands of US dollars);
- the calculations often take into account not physical and chemical patterns of processes, and statistical, which ultimately affect the accuracy of predictive calculations;
- in the optimization calculations of processes the main role is played by the economic component, which sometimes is not the main criterion in production.

The analysis of the existing software products and software libraries demonstrates the relevance of the development of new software packages that can replace and/or supplement the existing solutions, in order to improve the resource efficiency of the mixing stage by increasing the volume of production, reducing the unwanted inventory quality and to avoid overspending of expensive components.